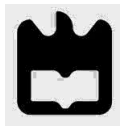


**Américo Luís
Felgueiras
Esteves**

**Desenvolvimento de uma Cadeira de Rodas Manual
Adaptável**



**Américo Luís
Felgueiras
Esteves**

Desenvolvimento de uma Cadeira de Rodas Manual Adaptável

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica dos Professores Doutores Carlos Alberto Moura Relvas e António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por todo o apoio e tudo o que fizeram por mim.

o júri

presidente

Prof. Doutor Rui Pedro Ramos Cardoso

professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Rui Jorge Dias Costa

professor associado da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro.

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas

professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos

professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas, por toda a disponibilidade, ajuda e paciência. Foi uma honra ter um orientador dotado de tanto conhecimento e visão singular sobre os problemas.

Ao meu co-orientador António Manuel de Amaral Monteiro Ramos por toda a ajuda e acompanhamento na componente experimental. Foi um prazer testemunhar a sua capacidade de solução dos problemas.

Aos meus amigos por me proporcionarem tão bons momentos de convívio ao longo destes anos.

À minha família por toda a motivação e confiança depositada em mim.

palavras-chave

Cadeira de rodas, crescimento , facilitador de mobilidade, ergonomia

resumo

Actualmente é dado um enfoque especial à mobilidade, uma vez que para as pessoas com incapacidades, a nível físico e/ou mental, a cadeira de rodas pode ser o único meio de mobilidade. Por esse motivo, torna-se fundamental a existência de cadeiras de rodas que permitam uma melhor qualidade de vida. Existem muitas cadeiras de rodas disponíveis no mercado, mas nenhuma com a capacidade de acompanhar o utilizador da fase de criança até a fase adulta. O trabalho realizado teve como objectivo a criação de um produto inovador no que diz respeito ao público-alvo com a introdução de alterações funcionais e estéticas na proposta.

A proposta conceptual desenvolvida no âmbito deste trabalho contemplou a incorporação de um conjunto de elementos diferenciadores em relação às actuais cadeiras de rodas, como o sistema facilitador de subidas, um novo conceito de fecho e acomodação do quadro, mesmo com banco rígido e facilidade de adaptação às necessidades do utilizador.

O projecto foi desenvolvido totalmente suportado por ferramentas CAD/CAE e recorreu a uma metodologia projectual estruturada, mais concretamente a utilização do QFD que permitiu, diminuir o tempo de desenvolvido da concepção de uma nova proposta de cadeira de rodas, uma vez que permite combinar quais as características que o consumidor mais valoriza, com os elementos que necessitam de mais atenção. Igualmente a utilização do FMEA permitiu antecipar eventuais problemas da proposta apresentada, tal como, os danos no utilizador ou ainda no produto.

Todo o projecto foi desenvolvido a pensar na segurança e autonomia do utilizador, assim foi possível criar um produto diferente dos demais uma vez que tem a capacidade de acompanhar o ocupante durante a fase de crescimento e aumentar a capacidade de mobilidade e autonomia do utilizador através de um facilitador de mobilidade.

keywords

.Wheelchair, growth, facilitating mobility, ergonomics.

abstract

Today it is given a special focus on mobility, for people with disabilities, physical and/or mental health, the wheelchair may be the only means of mobility. For this reason, it is essential to have wheelchairs improve the quality of life. There are many wheelchairs on the market, but none with the ability to follow the user from child until adulthood. The work aimed at creating an innovative product with respect to the target audience with the introduction of functional and aesthetic changes in the proposal.

The concept proposal developed in this work included the incorporation of a set of differentiating elements in compared to existing wheelchairs, as facilitator of the system increases, a new concept of accommodation and closing the frame, even with a bank and adaptability to user needs.

The project was developed fully supported by CAD / CAE and used a structured project methodology, specifically the use of QFD which allowed reduce the development time of the conception of a new proposal for a wheelchair, since it allows to combine the characteristics that consumers value most, with the elements that need more attention. It also allowed the use of FMEA anticipate any problems with the proposal presented, as the user or damage the product.

The entire project was developed to think about security and autonomy of the user, that way is possible to create a product different from others since it has the ability to track the occupant during the growth phase and increase the capacity of mobility and autonomy of the user through a facilitator of mobility.

Índice

1	Introdução	1
2	Estado de Arte	3
2.1	O mercado	3
2.2	Tipos de accionamento	5
2.3	Lesões predominantes nos utilizadores.....	7
2.4	Acessibilidades	9
2.5	Tipos de cadeiras	12
2.6	Tipos de cadeiras para a prática de desporto	18
2.7	Modelos Especiais	23
3	Planeamento Conceptual	26
3.1	Casa da qualidade (QFD, Quality function deployment).....	26
3.2	Inovações Introduzidas	27
3.3	Requisitos do Consumidor.....	27
3.3.1	Segurança.....	28
3.3.2	Durabilidade	28
3.3.3	Flexibilidade/Adaptabilidade	28
3.3.4	Mobilidade.....	28
3.3.5	Portabilidade.....	29
3.3.6	Conforto.....	29
3.3.7	Volumetria	29
3.3.8	Aspecto Formal	30
4	Especificações do Produto	37
4.1	Faixa da População	37
4.2	Elementos reguláveis	40

4.3	Tipo de Regulações.....	40
4.4	Facilitador de mobilidade	40
4.4.1	Dimensionamento do esforço desenvolvido em subida	41
4.5	Análise dos selectores de velocidade disponíveis no mercado	44
4.5.1	Selector com mudanças externas.....	44
4.5.2	Selector com mudanças internas	45
4.5.3	Selector de mudanças automáticas	45
4.5.4	Sistema NuVinci hub	46
4.6	Seleção do sistema selector de velocidades	47
5	Desenvolvimento conceptual	49
5.1	Análise Morfológica	49
5.2	Mecanismos	49
5.2.1	Adaptabilidade.....	50
5.2.2	Sistema de compactação e fecho (Portabilidade)	52
5.3	Seleção da solução	55
6	Solução final.....	58
6.1	Desenvolvimento de sistemas e mecanismos	59
6.1.1	Sistema de compactação e fecho	59
6.1.2	Selector de Velocidade	61
6.1.3	Geometria do anel.....	62
6.1.4	Posicionamento e regulação das rodas traseiras	62
6.1.5	Rodas frontais	63
6.1.6	Protecção de jante.....	63
6.1.7	Apoio de braços.....	64
6.1.8	Apoio de costas.....	64
6.2	Seleção de materiais da cadeira de rodas	65

6.3	Análise numérica dos elementos estruturais	66
6.4	Estabilidade da cadeira de rodas	69
6.5	Análise do modo de falha (FMEA).....	73
6.5.1	Análise do modo de falha da cadeira de rodas	76
6.6	Solução Final	77
7	Conclusão.....	81
8	Referencias Bibliográficas	83

Figura 2.1 - <i>Pushrim Activated Power Assisted Wheelchair</i> [8]	5
Figura 2.2 - Accionamento alternativo de mobilidade [9].....	7
Figura 2.3 - Anel de locomoção ergonómico [21].....	8
Figura 2.4 - Tipos de strokes	9
Figura 2.5 - Rampas de Acesso [24].....	9
Figura 2.6 - a)Altura dos trincos b) Especificações WC [8]	10
Figura 2.7 - Segurança cadeiras de rodas em transportes públicos	11
Figura 2.8 - a)Sistema de mobilidade com uma mão b)quadros especiais para pessoas com hemiplegia c) Amputação dos membros inferiores [8]	13
Figura 2.9 - Cadeira de rodas de crescimento [2].....	14
Figura 2.10 - Cadeira de rodas til-in-space [9].....	16
Figura 2.11 - Cadeira de rodas “LEO”	17
Figura 2.12 - a) Cadeira de Rodas de Banho “Clean” [25] b) Cadeira de rodas de banho c) Cadeira de Rodas Sanitárias	18
Figura 2.13 - Cadeira de rodas Basquete [27]	20
Figura 2.14 - Cadeira de rodas Ténis [28].....	21
Figura 2.15 - Cadeiras de rodas Corridas [33]	21
Figura 2.16 - Diferentes tipologias de Jantes	22
Figura 2.17 - Cadeira de rodas com sistema de amortecimento.....	24
Figura 2.18 - Cadeira de rodas TNT	24
Figura 2.19 - Cadeira de rodas "RoughRider"	25
Figura 3.1 - Sistema de segurança utilizado tem transportes públicos.....	29
Figura 3.2 - Matriz da qualidade	31
Figura 3.3 - Aspectos prioritários na óptica dos consumidores.....	32
Figura 3.4 - Aspectos prioritários Corrigidos.....	33
Figura 3.5 - Matriz do Produto	34
Figura 3.6 - Áreas de actuação em resposta às necessidades do Cliente.....	35
Figura 3.7 - Importância dos componentes	36
Figura 4.1 - Figura com medidas antropométricas	39
Figura 4.2 - Diagrama de corpo livre	42
Figura 4.3 - Carreto externo	44
Figura 4.4 Mudanças internas Shimano®	45

Figura 4.5 - Mudanças automáticas	45
Figura 4.6 - Sistema NuVinci Hub	46
Figura 4.7 - Nexus 3-speed modelado em CATIA	48
Figura 4.8 - Nexus 3-speed CATIA vista em corte	48
Figura 5.1 - Sistema Tradicional	50
Figura 5.2 - Esquema do sistema em compasso	51
Figura 5.3 - Sistema tradicional em Cruz (Compactação).....	52
Figura 5.4 - Sistema Cadeiras desportivas (Compactação)	53
Figura 5.5 - Sistema rotação de rodas	53
Figura 5.6 - Vista superior no caso de criança e adulto.....	54
Figura 5.7 - Sistema de compactação	54
Figura 5.8 - Sistema em compasso (adaptabilidade)	55
Figura 5.9 - Arvore e apoio e pés (adaptabilidade)	56
Figura 5.10 - Arvore e apoio e pés (adaptabilidade)	56
Figura 5.11 - Banco e encaixes no quadro	57
Figura 5.12 - Apoio de costas.....	57
Figura 6.1 - Solução Final	58
Figura 6.2 - Solução Final com utilizador	58
Figura 6.3 - Primeiro passo de Compactação	59
Figura 6.4 - Segundo passo de Compactação	60
Figura 6.5 - Terceiro passo de Compactação	60
Figura 6.6 - Quarto passo de Compactação	61
Figura 6.7 - Posicionamento e regulação das rodas traseiras	62
Figura 6.8 - Rodas frontais	63
Figura 6.9 - Proteção de Jante	64
Figura 6.10 - Apoio de Braços	64
Figura 6.11 - Cadeira de rodas com os materiais aplicados	65
Figura 6.12 - Condições fronteira.....	66
Figura 6.13 - Valores de Tensões (Von Mises)	67
Figura 6.14 - Valores de Tensões (Von Mises) situação de maior valor.....	67
Figura 6.15 - Deslocamento dos elementos.....	68
Figura 6.16 - Condições fronteira.....	68

Figura 6.17 - Tensão equivalente de von Mises da estrutura	69
Figura 6.18 – Deslocamento	69
Figura 6.19 - Diagrama de corpo livre	70
Figura 6.20 - Diagrama de corpo livre	71
Figura 6.21 - Diagrama de corpo livre	72
Figura 6.22 – Subida de rampa de acesso.....	77
Figura 6.23 - Fotorealismo	78
Figura 6.24 - Fotorealismo	78
Figura 6.25 - Proposta Final Caso Criança.....	79
Figura 6.26 - Proposta Final Caso Criança.....	79
Figura 6.27 - Proposta Final Caso Criança.....	80
Figura 6.28 - Proposta Final Caso Criança.....	80

Tabela 3.1 - Requisitos do Consumidor	30
Tabela 4.1 - Medidas antropométricas	39
Tabela 4.2 - Requisitos Facilitador de Mobilidade.....	41
Tabela 4.3 - Mudanças externas	44
Tabela 4.4 - Mudanças internas	45
Tabela 4.5 - Mudanças automáticas	46
Tabela 4.6 - Sistema <i>NuVinci hub</i>	46
Tabela 4.7 - Matriz de decisão.....	47
Tabela 4.8 - Matriz de decisão.....	48
Tabela 6.1 - Centro de massa	70
Tabela 6.2 - Centro de massa do conjunto	71
Tabela 6.3 - FMEA funções em análise na óptica do utilizador.....	74
Tabela 6.4 - Critérios de avaliação	75
Tabela 6.5 - FMEA.....	76

Gráfico 4.1 - Gráfico de Crescimento (Peso)	37
Gráfico 4.2 - Gráfico de Crescimento (estatura)	38

1 Introdução

Actualmente é dado um enfoque especial à mobilidade, uma vez que para as pessoas com incapacidades, a nível físico e/ou mental, a cadeira de rodas pode ser o único meio de mobilidade. Por esse motivo tornasse fundamental a existência de cadeiras de rodas que permitam uma melhor qualidade de vida.

A génese da cadeira de rodas apareceu no século XVI, mais precisamente, no ano de 1595, tendo sido construída para o Rei Filipe II de Espanha. A primeira patente em cadeira de rodas com proporção traseira e rodas frontais pequenas foi em 1986 [1]. Desde desse ano, estas cadeiras evoluíram e, presentemente, existe uma grande variedade de cadeiras de rodas. As mesmas apresentam-se separadas em duas classes [1]. Na classe 1 estão compreendidas todas as cadeiras de rodas que são accionadas manualmente e as de classe 2 estão incluídas as que são impulsionadas por uma fonte externa, geralmente, a electricidade [1-2]. As cadeiras de rodas manuais estão também divididas em várias faixas etárias sendo essas, habitualmente, dos 0-3 anos, 3-6 anos, 6-12 anos, 12-18 e ainda para adultos [2-3], existem algumas que acompanham o utilizador por um período mais alargado. A mesma cadeira de rodas tem modelos diferentes para dar resposta às diferentes dimensões do ocupante. Sendo raras as que acompanham ao longo da fase de criança até a fase adulta o que pode aumentar em muito o custo que agregado familiar tem de despende [1, 4]. Na separação por faixas etárias ainda aparece a divisão por categorias [2, 4-6]. Essas categorias foram criadas para irem de encontro as necessidades do utilizador [2, 4] e são apresentadas e explicadas posteriormente.

Para além das idades abrangidas e dos tipos de cadeira de rodas manuais existentes, é, também, necessário focar os materiais utilizados no seu fabrico, uma vez que podem influenciar o desempenho das mesmas, assim como o seu custo económico [1-2]. Os quadros destas cadeiras podem ser fabricados em diversos materiais sendo mencionados na literatura o alumínio, o aço, o titânio e os compósitos [2, 4, 7]. Nas cadeiras em alumínio, a liga utilizada é o 6061, devido ao seu baixo custo e por ser mais versátil a nível de tratamentos térmicos quando comparado com outra ligas de alumínio [1]. Para além disso, o facto de o alumínio apresentar uma grande resistência a corrosão o que aumenta, assim, o tempo de vida da cadeira de rodas é um factor preponderante para o seu uso [1, 8]. No caso

na cadeira de rodas fabricada em aço a serie 4130 é muito utilizada, devido às suas características, pois proporcionam uma boa soldadura e têm uma alta resistência à fadiga [1]. Já a utilização do titânio tem vindo a aumentar dadas as suas excelentes características de baixa densidade e de grande resistência a corrosão [1]. Apesar destas especificidades, possui muitas desvantagens, como o seu custo elevado quando comparado com outros materiais utilizados. Outro inconveniente de utilizar esta matéria-prima é a sua dificuldade em ser maquinado [1]. Já no que diz respeito aos materiais utilizados nos componentes que se encontram em contacto ocupante tem existido um grande desenvolvimento visando o aumento do tempo de vida das cadeiras de rodas [3, 5].

Hoje em dia o aspecto formal torna se essencial em todos os produtos para venda ao público, por isso, existe uma atenção redobrada para melhorar os aspectos das cadeira de rodas, assim, alguns fabricantes permitem personalizar as cadeiras de rodas [4].

A utilização continua da cadeira de rodas pode provocar lesões nas articulações, como por exemplo, nas do pulso, cotovelos e ombros [1-2, 9]. Essas lesões são provocadas por dois grandes motivos: o peso excessivo da cadeira de rodas, e a forma como a proporção é realizado [1-2, 9]. Por esse motivo, existem cadeiras de rodas que possuem variadores de velocidade, diminuindo a possibilidade destas lesões. Para além disso, esse sistema tem outra grande vantagem, auxilia a subida de rampas no acesso dos edificios [1].

Tendo por base o que foi mencionado anteriormente, justifica-se a pertinência da criação de uma cadeira de rodas que corresponda a uma fase de crescimento mais abrangente no âmbito da engenharia mecânica, mais propriamente na área do Desenvolvimento do produto, concepção de dispositivos médicos.

2 Estado de Arte

2.1 O mercado

No mercado, existem actualmente diversas cadeiras de rodas, que tentam ir ao encontro das necessidades dos clientes e das condições que os rodeiam [2, 10], mantendo como principais objectivos a melhoria da qualidade de vida dos seus utilizadores e o aumento da capacidade de mobilidade [1, 8].

Normalmente não é o utilizador que escolhe a cadeira de rodas, esta função cabe aos médicos, aos terapeutas ocupacionais ou ainda aos fisioterapeutas [8], que com os seus conhecimentos [1-2], conseguem escolher o tipo de cadeiras de rodas mais adequado para o utilizador. A cadeira é seleccionada de acordo com as atividades desenvolvidas pelo utilizador e ao seu estilo de vida [8]. O utilizador geralmente limita-se a escolher os aspectos formais, sendo este um dos factores que tem vindo a sofrer maior relevância, ganhando ainda mais importância no caso das cadeiras de rodas para crianças [2, 4]. A importância do aspecto formal no processo de escolha resulta na melhoria das condições de vida de uma sociedade e da maior aceitação para com as pessoas com este tipo de necessidades. Os aspectos formais ultimamente desenvolvidos são a cor do quadrado, o desenho das jantes e os padrões utilizados nos assentos das cadeiras de rodas. A sua preferência, muitas vezes, tem em linha de conta a sua capacidade financeira uma vez que estes produtos apresentam uma grande variação de preço entre cadeiras de rodas do mesmo género.

Um dos principais factores no custo deste tipo de produtos está relacionado com os materiais utilizados no fabrico. Estas matérias podem ser os mais variáveis possíveis desde da madeira, no caso das cadeiras utilizadas na idade média, até aos materiais mais utilizados nos dias actuais como o aço, ligas de alumínio, titânio e materiais compósitos [1,7]. A utilização de materiais mais leves como o alumínio, titânio ou material compósito tem contribuído para a diminuição do aparecimento de lesões nos membros superiores dos utilizadores de cadeiras de rodas manuais. A diminuição do peso tem favorecido a diminuição de lesões relacionadas com o menor esforço que o utilizador tem de fazer para fazer locomover a cadeira de rodas. As lesões são de evitar porque têm um impacto negativo na qualidade de vida da pessoa que utiliza a cadeira. Este tipo de lesões diminui a

mobilidade, aumenta a probabilidade de necessidade de cirurgia ou, nos casos mais extremos, resulta na impossibilidade de continuar a utilizar cadeiras de rodas manuais e implicar a passagem para cadeiras com accionamento eléctrico.

As cadeiras de rodas com um peso inferior a um peso de 16 kg [1, 8] são designadas por cadeiras de rodas leves e as matérias utilizados na sua construção foram inicialmente utilizados nas cadeiras de rodas de desporto. Este tipo de materiais sofreu uma grande difusão porque os utilizadores preferiam o aspecto destes quando comparados com um quadro em aço pintados [4]. Num estudo realizado foi possível perceber que os utilizadores preferiam este tipo de cadeiras, não só pela menor probabilidade de aparecimento de lesões mas também pela menor quantidade de energia despendida para se deslocar, facilitando assim a sua mobilidade [8, 11].

As cadeiras de rodas ultra leves são aquelas que pesam menos de 9 kg, sendo feitas em materiais compósitos ou então em titânio sendo este último o mais comum [1, 4, 8]. A utilização deste tipo de material aumenta em muito o custo final destas cadeiras. Este tipo de cadeiras de rodas apresenta os melhores resultados no que diz respeito à satisfação do cliente, quer ao nível da prevenção do aparecimento de lesões quer em termos de ergonomia e de conforto, uma vez que precisam de menor energia para serem movimentadas quando comparadas com as cadeiras de rodas leves [1, 11]. Estas cadeiras fabricadas em titânio apresentam uma maior longevidade, em resultado dos materiais estarem sujeitos a menores cargas, nomeadamente nos rolamentos e elementos do quadro. No entanto, podem surgir alguns problemas de resistência mecânica dos quadros, uma vez que estes são sujeitos a soldaduras sendo este, difícil no caso do titânio, o que provoca o aparecimento de defeitos nestas ligações [11-12]. Este tipo de cadeiras é apropriado para pessoas que têm necessidades de utilização por períodos de tempo muito elevados.

Foi realizado um estudo relativamente à resistência das cadeiras de rodas convencionais, leves e ultraleves e concluiu-se que as cadeiras de rodas ultraleves são as mais resistentes com 894,500 ciclos, as segundas mais resistentes são as cadeiras de rodas leves com 187,370 ciclos e, por fim, as tradicionais que apresentam uma resistência de 56,139 ciclos. [8]

2.2 Tipos de accionamento

Outra forma de evitar o aparecimento de lesões nas articulações é através da utilização de dois pequenos motores, colocados nos cubos das rodas da cadeira. Este sistema combina sistemas manuais, eléctricos e mecânicos. Estes motores proporcionam uma menor fadiga do utilizador uma vez que os motores eléctricos facilitam o movimento da cadeira de rodas (Figura 1.1). O accionamento dos motores é feito através de um leve impulso nos aros, que permite o accionamento dos motores electrónicos que por sua vez permite a mobilidade da cadeira de rodas. Este sistema proporciona ainda uma travagem suave, para isso, basta executar o movimento oposto ao de accionamento, activando um travão eléctrico [8, 13].

A sensibilidade dos motores pode ser regulada independentemente para as duas rodas, permitindo equilibrar a diferença de força nos braços do utilizador. A sensibilidade também pode ser ajustada permitindo que o utilizador faça mais ou menos esforço. A facilidade de transporte é conseguida através da extracção rápida das rodas e outra característica determinante é o tamanho reduzido das baterias. Este sistema pode ser montado em quase todas as cadeiras de rodas manuais e apresenta como principais problemas o aumento do peso da cadeira de rodas, o que dificulta a sua mobilidade quando utilizado apenas o sistema manual, e o custo de aquisição do sistema. [8, 13]



Figura 2.1 - *Pushrim Activated Power Assisted Wheelchair* [8]

Existe um sistema mecânico, que tem como principal objectivo uma diminuição no esforço dispendido pelo utilizador na mobilidade [14]. O sistema é semelhante ao utilizado em bicicletas citadinas, em que o sistema de mudança pode ser externo ou interno. No caso das mudanças internas, estas podem estar situadas dentro do cubo das rodas[4]. No caso das mudanças externas a principal vantagem reside na capacidade de resistir a binários mais elevados, quando comparado com as mudanças internas. O esforço, dispendido para a mobilidade da cadeira, está muito dependente das desmultiplicações disponíveis no sistema de mudanças. Este não é um sistema muito difundido, quando comparado com o sistema eléctrico, uma vez que é menos estético porque possui cabos. Além disso, estes podem ficar presos em partes das cadeiras [4] ficando, assim, a segurança do utilizador comprometida. No entanto, existem modelos que não possuem cabos o que torna o sistema mais complexo, mas mais atractivo quando comparado com o anterior.

O sistema de desmultiplicação mecânico pode, igualmente, ser conseguido através de vários anéis de diâmetros variáveis. Esta solução apresenta diversos problemas no que diz respeito à sua capacidade de desmultiplicação e à largura da cadeira de rodas [4], o que dificulta a mobilidade do utilizador dentro de casa, sendo este um sistema mais antigo comparativamente ao anterior. O sistema mecânico de desmultiplicação detém, quando utiliza relações de transmissão baixas, como principal vantagem o facto de proporcionar um menor esforço na mobilidade. Este sistema é ideal para subir de rampas, enquanto razões de transmissões elevadas são ideais para descida de rampas. Os sistemas mecânicos com desmultiplicação têm como principal problema o aumento do peso da cadeira que é amplamente compensado pelas vantagens do doseamento do esforço [4].

Sistema de mobilidade utilizado pode não ser o convencional, este pode ser conseguido através do accionamento muito similar ao que é utilizado pelas bicicletas com a diferença do accionamento ser realizado com as mãos para o movimento da cadeira de rodas (Figura 2.2). Este sistema tem uma melhor eficiência energética para o utilizador mas apresenta como principal inconveniente: o aumento do custo, da cadeira de rodas, porque possui mais elementos do que as cadeiras de rodas tradicionais. Outro problema é o facto deste tipo de cadeiras de rodas não permitir uma integração dentro de compartimentos fechados devido às suas grandes dimensões [8].



Figura 2.2 - Accionamento alternativo de mobilidade [8]

2.3 Lesões predominantes nos utilizadores

As lesões mais comuns nos utilizadores das cadeiras de rodas estão relacionadas com o sistema de locomoção utilizado. Estas lesões surgem com maior incidência no membro superior, mais concretamente, nas articulações do ombro, cotovelo e punho [9, 15]. O sistema de locomoção geralmente utilizado consiste na utilização de um anel, através do qual é preciso aplicar força, sendo esta, posteriormente, transmitida às rodas o que provoca o movimento da cadeira. Se estes anéis de locomoção não possuírem uma forma ergonómica, em função da mão do utilizador [16], pode resultar numa área de contacto demasiado reduzida, ou não possuir o espaço necessário para a colocação do polegar, uma vez que a distância entre a roda e o anel muitas vezes é pouco adequada. Estes dois factos são motivos suficientes para diminuir a eficiência na mobilidade (Figura 2.3). Para diminuir o aparecimento desses problemas foi desenvolvido um sistema que ainda está pouco difundido e que consiste em duas peças, um tubo de forma oval e um aro com a geometria do polegar (*contoured trough for the thumb*). Cada uma destas superfícies possibilita a impulsão ou a travagem do sistema de modo independente. Este sistema apresenta quatro características diferentes quando comparada com os outros sistemas de locomoção. Em primeiro lugar o desenho mais ergonómico proporciona uma maior área de contacto da mão com a superfície do anel. Em segundo lugar o tubo em forma oval facultava uma superfície pouco rugosa para a travagem. Em terceiro, apresenta uma área de contacto apenas para o polegar que proporciona uma área de grande contacto para propulsão, uma área fechada entre o anel e a roda, tornando assim o sistema mais seguro. Em último lugar

uma distância maior entre o anel e a roda. Este sistema apresenta uma melhoria no processo de propulsão, em cerca de 7%, sendo esta melhoria bastante significativa tendo em conta a quantidade de ciclos que as pessoas fazem diariamente. Estas melhorias só são visíveis duas semanas depois de o utilizador começar a utilizar este sistema, porque existe previamente um período de adaptação. [16]

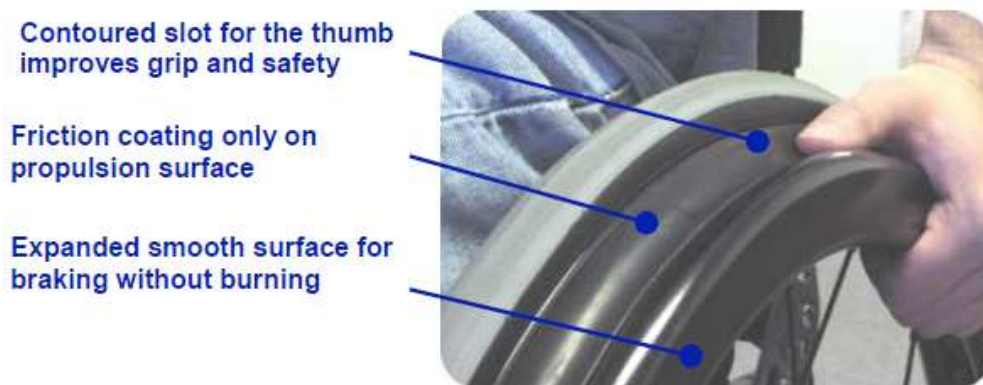


Figura 2.3 - Anel de locomoção ergonómico [16]

As lesões não estão apenas relacionadas com a força necessária para o accionamento da cadeira de rodas, estas também podem surgir por não existir um alinhamento entre os ombros e o centro da roda [4]. Outro factor que pode influenciar o aparecimento de lesões é o tipo de "strokes". Designa-se por "Stroke" o movimento total da mão, mais concretamente, desde que esta entra em contacto com anel até ao seu retorno à posição inicial sem contacto com o anel, e novamente a posição de contacto com o anel. O movimento inicial da mão em todos casos estudados é similar, o que difere é, a segunda parte do movimento no qual não existe aplicação de força, ou seja no retorno à posição inicial. Existem vários tipos de "strokes", sendo estas caracterizadas pelo movimento da mão na segunda parte. Estes estão divididos em 4 tipos: SC, SLOP, DLOP, ARC, (Figura 2.4) [14-15, 17-18]. Verificou-se que a utilização de alguns tipos de "strokes", em detrimento de outros, diminui a possibilidade do aparecimento de lesões [15].

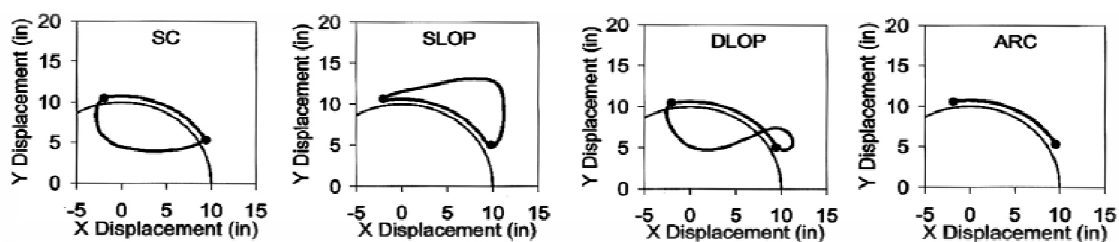


Figura 2.4 - Tipos de strokes

2.4 Acessibilidades

O meio envolvente para pessoas com mobilidade condicionada tem de ser transformado, por esse motivo existe um regulamento, desde 1997 em Portugal. O que se verifica na realidade é que grande parte das rampas de acesso não se encontra segundo o regulamento português, o que as torna, por vezes, praticamente inacessíveis para estas pessoas [19]. A inclinação nas rampas de acessibilidade que se encontra no regulamento de mobilidade condicionada português, não deve ultrapassar o 6° com 10 metros de comprimento ou inclinação máxima de 8° com 5 metros de comprimento (Figura 2.5) [20]. O mesmo acontece aos utilizadores das cadeiras de rodas eléctricas, já que grande parte das cadeiras de rodas eléctricas não consegue subir inclinações superiores a 5%, apesar de existirem alguns modelos que conseguem subir inclinações até 7%, mas são de custo mais elevado.

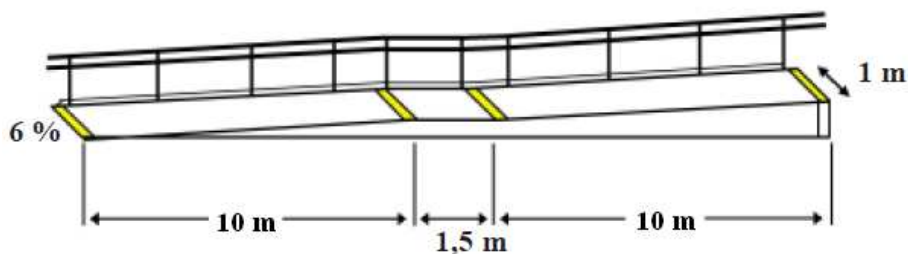


Figura 2.5 - Rampas de Acesso

Numa perspectiva de melhorar a qualidade de vida dos utilizadores das cadeiras de rodas, foram criadas várias normas no que diz respeito à acessibilidade e mobilidade no interior dos edifícios. Estas normas estão relacionadas com diversos aspectos, como a definição da largura das portas que devem ter um mínimo de 0,90 m e tentar sempre evitar a utilização de maçanetas e de portas giratórias, salvo se houver portas com folha de abrir contíguas. Os botões de campainha ou de trinco devem situar-se entre 0,90 m e 1,30 m de altura ao solo. As fechaduras e os manípulos das portas devem situar-se a uma altura entre 0,90 m e 1,10 m do solo, estas são algumas características entre muitas que têm carácter de obrigatórias [17], (Figura 2.6a).

Existe ainda legislação para casos específicos como nos balneários, onde o espaço mínimo de pelo menos uma das cabinas de duche, com WC e lavatório, deve ter 2,20 m X 2,20 m, sendo obrigatório a colocação de barras para apoio bilateral a 0,70 m do solo. Apesar das leis já existirem há mais de 10 anos, ainda existem edifícios modernos que não estão preparados para pessoas com essas limitações. Por este motivo, as pessoas com mobilidade condicionada, continuam a ter muitas dificuldades na sua vida diária. (Figura 2.6b)

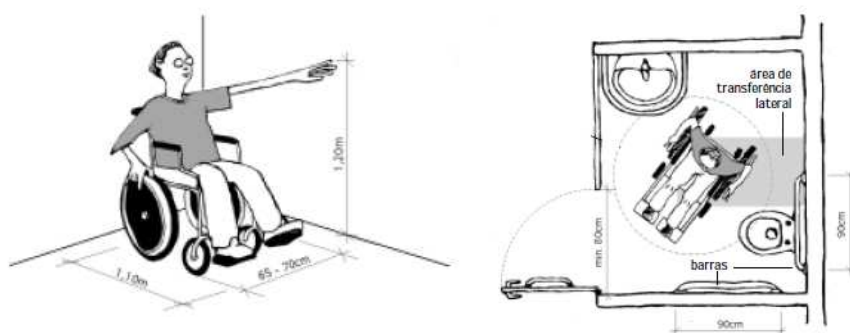


Figura 2.6 - a) Altura dos trincos b) Especificações WC

Esta legislação também é a base para as equipas responsáveis pelo desenvolvimento de novos modelos de cadeiras de rodas, uma vez que permite que estes melhorem a qualidade de vida dos seus utilizadores. Procurando sempre as melhores soluções para combater os problemas que as pessoas com mobilidade condicionada enfrentam.

Tendo em conta os problemas de acessibilidade nos transportes públicos, em países mais desenvolvidos foram introduzidas alterações no projecto dos mesmos, como o aparecimento de plataformas elevatórias e espaços específicos para a localização das cadeiras de rodas (Figura 2.7). Em que existem quatro apoios A no autocarro que por sua vez estão ligadas a cadeira B através de cintas em que inclinação das mesmas tem de ser de 45% C. As cadeiras de rodas tem de ter uma característica singular para o transporte deste tipo, é a existência de pequenas placas de metal colocadas no quadro. As cadeiras de rodas que utilizam este tipo de sistema de segurança nos transportes públicos são testadas não só através de simulação numérica e computacional, mas também por simulação real.

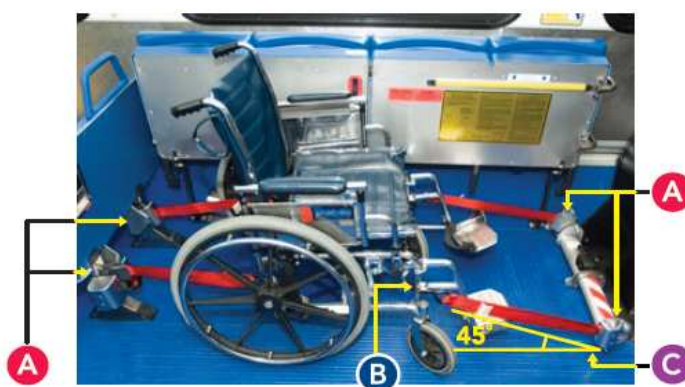


Figura 2.7 - Segurança cadeiras de rodas em transportes públicos

No caso das casas antigas que tem mais que um piso existem cadeiras que permitem a mobilidade entre os dois ou mais andares da casa. Existem vários modelos, e fabricantes para este tipo de sistemas, sendo que este basicamente consiste num sistema elevatório que permite que o ocupante, com grande nível de segurança e conforto, se faça deslocar de um piso para o outro. Este sistema pode ser aplicado em qualquer tipo de escada [21]. Para escadas mais complexas, como o caso de escadas circulares, o custo deste tipo de sistema aumenta. Dentro do mesmo género, existem também as plataformas elevatórias, que são mais fáceis de instalar mas que têm de ser previamente previstas durante a fase de projecto do edifício. Estes tipos de sistemas permitem uma instalação fácil, quando comparados com os anteriores.

2.5 Tipos de cadeiras

Existem basicamente dois grandes grupos nas cadeiras de rodas, as manuais e as eléctricas. Existido dentro de cada género, vários sub agrupamentos. Estes agrupamentos são criados com características específicas das cadeiras de rodas, mas podem igualmente existir cadeiras de rodas que tenham algumas características de um determinado agrupamento e não pertencerem a esse. Estes agrupamentos foram criados de modo a tentar satisfazer necessidades comuns e específicas de diversos utilizadores [9].

Uma cadeira de rodas manual basicamente consiste num sistema que tem um quadro, que pode apresentar diversas tipologias [8]. Esse quadro pode ser fixo e rígido ou então dobrável, sendo que o quadro rígido tem uma maior estabilidade e por esse motivo é mais utilizado em cadeiras de rodas desportivas. Já o quadro dobrável permite maior facilidade no transporte das cadeiras de rodas em carros, normalmente, este quadro é constituído por uma estrutura em cruz que pode ser de cruz dupla ou simples. No quadro está acoplado o apoio de braços e de pernas que pode ser regulável, no que diz respeito a sua altura. No quadro da cadeira de rodas estão igualmente acopladas as rodas traseiras e dianteiras que podem ser de vários tamanhos e nas quais são fixos os anéis de locomoção da cadeira. Dependendo da cadeira de rodas pode ser possível a remoção rápida quer das rodas traseiras ou das rodas dianteiras.

As cadeiras de rodas mais comuns são designadas por standard [1, 8]. Este sub agrupamento de cadeiras manuais é normalmente constituído pelas cadeiras mais económicas do mercado, que permite uma mobilidade autónoma. É possível adquirir este tipo de produto numa configuração padrão ou com pequenas alterações para um melhor ajuste no utilizador. Esta cadeira está dotada de um quadro dobrável para facilitar o transporte e possui todos os elementos genéricos, como descanso de braços, apoio de pés, rodas frontais direccionais e rodas traseiras nas quais estão acopladas os anéis.

No caso de pacientes com problemas nos membros superiores ou que sofreram amputações dos mesmos, existem sistemas que permitem a mobilidade apenas com uma mão. As características globais deste tipo de cadeira são em grande medida iguais às outras, o que as diferencia do resto das cadeiras é o facto dos dois anéis de locomoção se encontrarem do mesmo lado da cadeira. Um deles proporciona o accionamento da roda do

mesmo lado enquanto o outro faz o movimento da outra roda através de um veio. O problema deste sistema é que necessita de uma boa coordenação motora. (Figura 2.8a).

Para pessoas que sofrem de hemiplégia são necessárias cadeiras com quadros mais baixos para permitirem a propulsão através da utilização dos pés, (Figura 2.8 b). Já para utilizadores que sofreram uma amputação dos membros inferiores os quadros devem ter as rodas traseiras mais distante das rodas da frente para proporcionar uma maior estabilidade das costas e diminuir a possibilidade da cadeira tombar frontalmente. (Figura 2.8 c)

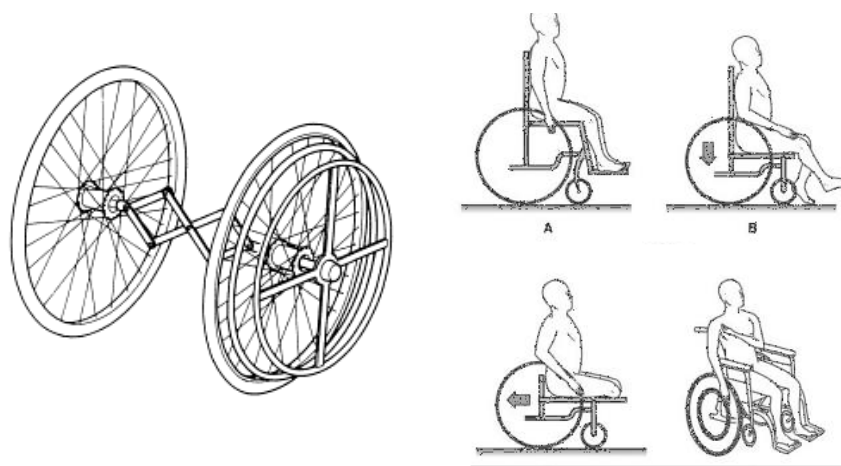


Figura 2.8 - a) Sistema de mobilidade com uma mão b) quadros especiais para pessoas com hemiplegia c) Amputação dos membros inferiores [8]

Existem também cadeiras de rodas especiais para pessoas obesas [4]. A obesidade neste tipo de população é uma realidade, resultante em grande medida da vida sedentária e dos hábitos alimentares de alguns utilizadores de cadeiras de rodas. Neste tipo de produto os tubos que constituem o quadro possuem espessuras superiores, tal como, a zona de assento é geralmente reforçada para resistir a cargas maiores quando comparado com o standard [1, 8]. Os elementos que sofrem maior alteração nestas cadeiras de rodas são a largura e a profundidade do assento.

As cadeiras de rodas designadas de todo-o-terreno possuem as mesmas partes constituintes das cadeiras ditas "standard", com a diferença no tamanho das rodas traseiras e das rodas frontais. Estas são de uma dimensão bem superior às tradicionais permitindo uma mobilidade em terrenos que seria, de outro modo, impraticável, tais como a praia e terrenos mais acidentados.

As cadeiras de rodas de rodas para crianças [4, 8], são em tudo iguais as cadeiras de rodas standard, com a grande diferença de possuírem uma roda geralmente de apenas 430 mm, tal como as medidas inferiores de quadro e seus componentes, [8] em resultado das dimensões mais reduzidas dos seus ocupantes. As cadeiras de rodas para este público-alvo têm grande preocupação com o aspecto formal, principalmente através de cores vivas e brilhantes e com uma aparência mais aerodinâmica.

As cadeiras de rodas de crescimento apareceram com a necessidade de acompanhar o crescimento das crianças sem haver a necessidade de mudar de cadeira de rodas constantemente. Sem este tipo de produto, as famílias estariam obrigadas a comprar muitas cadeiras de rodas durante a fase de crescimento o que se tornaria muito dispendioso. Os parâmetros que permitem um ajustamento ao crescimento das crianças, estão relacionados com a largura e profundidade do assento, um eixo ajustável que permite a variação da altura do assento tal como a alteração do comprimento do apoio dos pés e do apoio dos braços (Figura 2.9). Estes ajustes geralmente são conseguidos por um posicionamento discreto. A principal limitação destas cadeiras é que geralmente, não conseguem acompanhar o crescimento desde da fase de criança até à fase adulta, estas cadeiras estão separadas geralmente por faixas etárias, dos 3 aos 6 anos e dos 6 aos 12 anos.



Figura 2.9 - Cadeira de rodas de crescimento [2]

Existem ainda cadeira de rodas manuais denominadas por cadeiras de transporte [4, 8]. São os produtos mais económicos do mercado, e foram concebidos para o uso dentro de instituições, como hospitais e centros de reabilitação [1, 4, 8]. Sendo esta ideal para o transporte de pessoas com dificuldades de mobilidade ou com lesões de pequena duração. São cadeiras de rodas geralmente mais leves e económicas e de fácil armazenamento ou transporte em automóveis. Esta cadeira contrariamente à grande maioria das outras cadeiras de rodas, não possui rodas de grande dimensão na parte de trás, por esse motivo não é apropriada para pessoas que queiram autonomia uma vez que não permite a mobilidade feita pelo utilizador.

Para as pessoas que tem um controlo limitado do torso e da cabeça ou ainda para pessoas que precisam de mudar de posição, foram desenvolvidas cadeiras de rodas semi-reclináveis e completamente reclináveis. Estas cadeiras em alguns casos conseguem melhorar a condições respiratórias, esta ainda permite que uma diminuição de pressões localizadas [2, 5, 8]. As primeiras são cadeiras de rodas que apenas proporcionam rotação das costas entre 0 e os 30 graus enquanto as segundas já permitem uma rotação entre os 0 e os 90 graus. Para que as cadeiras mantenham a sua estabilidade o quadro é alongado, aumentando assim a distância entre as rodas frontais e as rodas traseiras, no segundo caso o quadro tem de ser ainda mais alongado uma vez que o centro de massa vai-se deslocar ainda mais para traseira [1, 8, 22-23]. Apesar dos benefícios este tipo de cadeiras estas apresentam o problema ao nível da mobilidade feita pelo utilizador, uma vez que os eixos das rodas não estão alinhados com os ombros dificultando assim os *strokes*. Este problema parece não ter grande consequência, porque os utilizadores deste tipo de cadeiras, muitas vezes não conseguem a fazer sua própria mobilidade, esta é geralmente assegurada por terceiros. [8, 24]

As cadeiras *tilt-in-space* (Figura 2.10) permitem que as pessoas fiquem numa posição inclinada para trás sem comprometer a sua posição sentada. Este sistema consegue aliviar a pressão localizada, diminuindo assim o aparecimento de alguns problemas circulatórios, ou ainda, relacionados com o excesso de horas sentados na mesma posição, como por exemplo o caso de pessoas com úlcera de pressão [1, 8, 23]. Apesar dos benefícios desta, esta apresenta no entanto algumas limitações tais como a dificuldade de se incorporar no meio insólito. Outro problema está relacionado com as transições entre

as posições extremas, durante as quais podem ocorrer desequilíbrios. Outro dos problemas deste tipo de cadeiras de rodas é o seu elevado custo. Nas cadeiras *tilt-in-space* a rotação do assento pode ser conseguida através de um sistema manual ou através de um sistema eléctrico. [22-23]



Figura 2.10 - Cadeira de rodas til-in-space [8]

Existem ainda cadeiras que proporcionam ao utilizador a possibilidade de se posicionar verticalmente. Este sistema tem grande vantagem permitir um melhor acesso a armários e janelas e tornar ainda mais fácil a realização de algumas tarefas do dia-a-dia. Estas cadeiras de rodas têm vários benefícios para a saúde do utilizador, como uma melhoria no funcionamento do sistema renal, e uma melhoria significativa no que diz respeito à circulação contínua e ainda reduzir a perda da densidade óssea. O movimento de elevação destas cadeiras de rodas é realizado através de um sistema pneumático, e um quadro articulado. Podendo existir duas rodas pequenas na parte traseira das cadeiras de rodas o que permite um maior estabilidade do ocupante, apesar de nem todos os modelos apresentarem esse elemento extra. O modelo da "LEO" não possui as rodas pequenas na parte de trás, e a sua estabilidade é conseguida através da rotação da rodas frontais (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Cadeira de rodas “LEO

Tendo ainda em conta as necessidades dos utilizadores de cadeiras de rodas, foram desenvolvidas algumas cadeiras de rodas com fins muito específicos que são utilizadas apenas na residência. Um desses casos é a cadeira de rodas para banho, esta cadeira pode ser fabricada de duas maneiras completamente distintas. O primeiro modelo que apareceu deste tipo foi o "clean" de uma empresa sueca, o qual recebeu o prémio de design de 1988 nos EUA, sendo este completamente construído em através da injeção de pvc (Figura 2.12 a) [25]. Este modelo serviu de inspiração ao aparecimento de outras cadeiras do mesmo género. Existe também cadeira de rodas, para o banho que não são fabricadas totalmente em material pvc, estas são constituídas por uma combinação de materiais. Tais como, o alumínio ou titânio que tem uma elevada resistência a corrosão, e depois com alguns elementos em material polímero e ainda com o assento e o apoio de costas em nylon (Figura 2.12 b).

Existem ainda cadeiras de rodas sanitárias, estas cadeiras apresentam, varias características importantes tal como a possibilidade de ter um maior apoio de costas para pessoa que não possui estabilidade na parte superior do corpo, ou por outro lado estarem ou não dotadas de apoios de braço. Estas cadeiras geralmente são fabricadas em PVC, podendo ou não ter rodas na parte frontal (Figura 2.12 c).



Figura 2.12 - a) Cadeira de Rodas de Banho “Clean” [25] b) Cadeira de rodas de banho c) Cadeira de Rodas Sanitárias

2.6 Tipos de cadeiras para a prática de desporto

A prática desportiva por pessoas com mobilidade condicionada, nos dias de hoje é uma realidade, quer por pessoas com próteses externas, quer para praticantes que necessitam da cadeira de rodas para se deslocar. Para as pessoas que utilizam a cadeira de rodas, o desporto traz geralmente grandes benefícios, quando esta prática não é feita de um modo profissional. Quando os desportos feitos em cadeiras de rodas são mais exigentes os benefícios tendem a desaparecer e aumentam as probabilidades do aparecimento de lesões [26].

As cadeiras de rodas desportivas, possuem, várias características muito específicas comparativamente com as outras cadeiras de rodas. Estas contrariamente a muitas cadeiras de rodas não possuem um quadro articulado e dobrável, mas estão dotadas de um quadro rígido. Esta característica proporciona uma maior estabilidade e performance mas com o grande inconveniente de tornar o seu transporte mais difícil. Estas são geralmente construídas em materiais mais nobres como ligas especiais de alumínio, titânio ou em materiais compósitos mais especificamente, fibra de carbono, kevlar ou fibra de vidro. Uma das ligas de alumínio utilizadas na construção deste tipo de cadeiras de rodas é o SAE 6001, por se tratar de um material relativamente económico mas que ao nível estrutural apresenta boas propriedades mecânicas e elevada resistência à corrosão. No entanto o alumínio mais utilizado para este tipo de cadeiras pertence à série 7075, apresentando melhores características mecânicas quando comparado com o anterior, apesar do

inconveniente de não ser aconselhável a sua ligação por soldadura. O titânio também é muito utilizado como material construtivo, é utilizado devido às suas excelentes características, a sua utilização proporciona cadeiras de grande performance mas de elevado custo [1]. Os materiais compósitos têm como principais vantagens a possibilidade reproduzir geometrias mais complexas e manter as características mecânicas desejadas para cadeiras de elevada performance [7].

Existem muitos tipos de rodas traseiras para desporto, esta variedade deve-se às diferentes necessidades de cada desporto. Existindo assim cadeiras com características específicas para quase todos os tipos de desporto [4]. As cadeiras de rodas desportivas podem ter a configuração das cadeiras de rodas "normais" com um quadro e rodas traseiras e frontais ou tal como existem alguns modelos, com apenas três rodas, duas na zona posterior e uma à frente.

As cadeiras de rodas mais habituais para o desporto são utilizadas para a prática do basquetebol, rugby, de corrida, ténis e corrida. As cadeiras de rodas de rugby são fabricadas em alumínio ou titânio e possuem uma parte frontal “hammer-head”, preparada para colisões frontais, as rodas traseiras são ligeiramente inclinadas para facilitar as manobras. As rodas da frente são mais pequenas e num material mais duro para proporcionarem melhor mobilidade. Este tipo de cadeiras não só pode ser usado para a prática do rugby mas também pode ser utilizada em desportos de contacto [8].

As cadeiras utilizadas no basquetebol possuem algumas características muito específicas para a prática da modalidade (Figura 2.13). Apenas é permitida uma almofada no assento da cadeira de rodas, as almofadas nunca podem ultrapassar as dimensões do assento e sendo obrigatório uma consistência uniforme do mesmo. O apoio dos pés tem de ser desenhado de modo a prevenir os danos na superfície do pavimento e não pode estar acima de 110 mm do chão. Estas cadeiras de rodas tal como as anteriores tem as rodas traseiras inclinadas e rodas frontais de pequena dimensão, podem contudo possuir uma pequena roda colocada parte de trás para a sua estabilização [27].



Figura 2.13 - Cadeira de rodas Basquete [27]

Para a prática do ténis a cadeira é muito similar à utilizada na prática do basquete, são cadeiras muito leves para possibilitar uma boa mobilidade, as rodas são inclinadas numa amplitude de 18 a 22 graus para facilitam a mobilidade do ocupante, tal como a capacidade de efectuar curvas mais facilmente (Figura 2.14) [28]. As rodas podem ser amovíveis possibilitando a utilização de rodas de diferentes dimensões, uma vez que este tipo cadeiras não permite a regulação da altura. Os cubos são especialmente resistentes para aguentarem as solicitações a que estão sujeitos. O descanso dos pés, é constituído por um único apoio, com possibilidade de realizar pequenos ajustes em altura e inclinação. Nestas cadeiras é preciso ter em atenção ao centro de gravidade, se o eixo das rodas traseiras estiver puxado para a frente vai permite uma maior agilidade do utilizador, porém mais sensível no que diz respeito à sua estabilidade. No caso de o eixo estar mais colocado para trás a cadeira ganha estabilidade, mas o utilizador perde agilidade. As rodas dianteiras são normalmente de 76,2 mm e no caso de serem maiores reduzem a capacidade de rotação, já quando são menores que 76,2 mm, os pequenos ressaltos do piso são mais sentidos pelo utilizador. As cadeiras de rodas para este tipo de modalidade custam entre 2000 a 3000 euros, o que pode ser considerado um custo muito elevado. Estas cadeiras de rodas têm como principal inconveniente a impossibilidade de ser usada por pessoas com pesos muito elevados. Apesar de ser possível praticar este desporto com outros tipos de cadeiras de rodas ditos "normais", tal não é aconselhável nem para a cadeira, nem para o utilizado. Em primeiro lugar porque as cadeiras tradicionais não estão preparadas para este tipo de solicitação e no caso dos praticantes aumenta a possibilidade de lesões. [28]



Figura 2.14 - Cadeira de rodas Ténis [28]

As cadeiras de rodas para corrida possuem apenas três rodas e tal como todas as cadeiras desportivas mencionadas anteriormente são fabricadas em materiais que permitem um peso total baixo (Figura 2.15). Este tipo de cadeiras com apenas três apoios, a roda da frente encontra-se bastante afastada das rodas traseiras e a altura total do equipamento é inferior ao das outras cadeiras de rodas. Estas características permite que o centro de gravidade da cadeira e do ocupante se encontrem mais abaixo do que normal, melhorando a estabilidade e a aerodinâmica do conjunto. Para obter melhores resultados ao nível das competições estas cadeiras de rodas necessitam ser construídas à medida do utilizador [29-30], o que aumenta significativamente o seu custo final em resultado do processo de automatização do fabrico ser praticamente impossível. Estas cadeiras de roda possuem alguns elementos únicos, e características que não são similares em nenhuma cadeira.



Figura 2.15 - Cadeiras de rodas Corridas [29]

A primeira característica única é a utilização de três rodas. A roda frontal tem uma média entre 40 a 50 cm de diâmetro e as rodas traseiras têm uma largura maior que a frontal, o seu diâmetro pode variar entre 61 a 66 cm e podem existir muitos tipos de pneus.

Os travões também são bastante diferentes, neste tipo de cadeiras. Estes têm uma configuração, parecida com os que são utilizados nas bicicletas. E permitem a colocação de um par de pastilhas na jante da frente, este sistema tem como objectivo ajudar os atletas a travarem mas não permite travagens de emergência. Existe igualmente, um mecanismo que permite que a roda frontal se mantenha numa posição direita ou em corridas de maior distância em que é preciso fazer uma curva, este sistema pode ser mudado para executar a curva. É igualmente possível ajustar o raio que a cadeira executa. Esta cadeira de rodas, para melhor estabilidade e segurança do atleta está equipada com cintas. Apesar da grande tecnologia utilizada nestas cadeiras, estas utilizam mesmo sistema de impulsão que a grande maioria das cadeiras de rodas, baseado num anel que está acoplado à roda traseira, podendo no entanto, existir algumas diferenças na geometria do anel. Existem três tipos de jante, *The Spoked A) Rim, The Tri/Quad Spoked Fiberglass Rim C;D), Carbon Fiber Disc Rims B)*, onde o anel fica colocado. (Figura 2.16) [29-30].

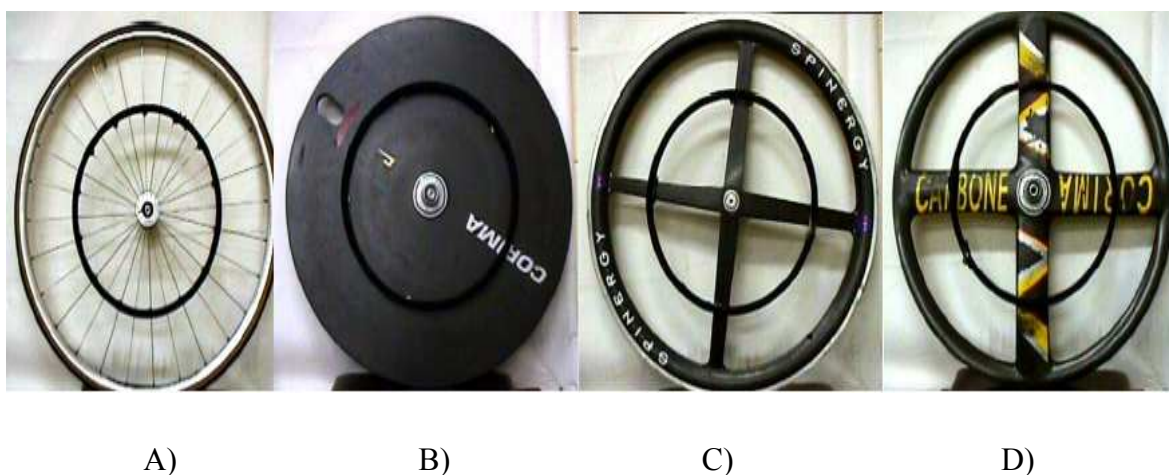


Figura 2.16 - Diferentes tipologias de Jantes

O primeiro tipo (A) são utilizados por atletas principiantes ou então atletas femininos, são mais económicos e quando solicitados por grandes esforços têm a tendência a empenar. No entanto, é possível aumentar o número de raios para diminuir o esforço que cada um está sujeito. As jantes (C) e (D) são muito mais dispendiosas economicamente,

porque são fabricadas em material compósito, mais especificamente em fibra de vidro, a sua configuração também permite menos resistência ao vento. Este tipo de jantes é utilizado por mulheres fortes ou então por atletas masculinos leves. As jantes do tipo (B) são as mais resistentes de todas e provocam uma menor perda de energia no utilizador, sendo que estas consistem basicamente num disco onde é ligado o anel, este tipo de jantes tem o inconveniente de funcionar como “velas” para os ventos laterais, por esse motivo são utilizadas por atletas com um peso elevado.

Estas cadeiras de corrida podem igualmente possuir um sistema de accionamento diferente das "normais", este consiste uma roda e um volante que é colocado na parte frontal da cadeira. Esta adaptação, tem incorporado um sistema de pedaleira, no qual o utilizador consegue transmitir o movimento de tracção à roda frontal.

2.7 Modelos Especiais

Existem cadeiras de rodas manuais que possuem um sistema que permite que o utilizador não sinta as irregularidades do solo. A ausência deste tipo de dispositivo contribui para um desgaste maior do ocupante e aumenta a propensão a lesões [31]. Já existem muitas cadeiras deste tipo, mas mais recentemente apareceu uma cadeira de rodas, com características inovadoras que permite ultrapassar declives superiores a 2 metros sem que o utilizador perca o equilíbrio, isto devesse ao seu centro de massa estar no centro e ainda ao seu amortecedor que absorve grande parte do impacto (Figura 2.17). Este sistema consiste num amortecedor que é montado no centro da cadeira de rodas, este amortecedor permite uma calibração da sua rigidez, permitindo um melhor ajuste à condução do utilizador [31]. Maior amortecimento permite uma condução mais suave, um menor amortecimento permite uma mobilidade com menor esforço. Na parte frontal esta montado as rodas frontais as quais não estão rigidamente ligas ao quadro, este pequeno permite uma pequena dissipação de energia, não permitindo assim que a mesma passe para o utilizador. (Figura 2.17).



Figura 2.17 - Cadeira de rodas com sistema de amortecimento

Em países com pior qualidade de vida, ou seja em que não existem boas condições de circulação nas ruas e estas estão bastante degradadas, foram criadas cadeiras de rodas mais resistentes. Estes países representam uma grande cota do mercado que não é abrangido pelas outras cadeiras de rodas, proporcionando assim um mercado emergente, cerca de 70% das pessoas que necessitam de cadeiras vivem em países sem condições. Assim, foram criadas algumas cadeiras de rodas que são mais robustas. As cadeiras de rodas TNT (Figura 2.18), não apresentam grande diferença entre a sua utilização dentro de casa ou no exterior. Esta resulta de uma combinação de bicicleta de montanha com cadeira de escritório, na qual o utilizador sente-se confortável andar o dia todo. Esta cadeira de rodas possui rodas de grande dimensão, tornando assim mais fácil ultrapassar obstáculos. Uma das características mais importantes neste tipo de cadeira de rodas é a possibilidade de ser reparada em quase qualquer parte do mundo uma vez que possui componentes fáceis de reparar [32]



Figura 2.18 - Cadeira de rodas TNT

Também para países menos desenvolvidos foi criada uma outra cadeira de rodas "*RoughRider*" (Figura 2.19). Esta é uma solução de baixo custo, factor determinante para o seu mercado alvo. Possui uma grande estabilidade devido ao seu centro de gravidade baixo e a uma elevada distância entre eixos frontal e traseiro [32]. Os rolamentos podem ser facilmente reparados ou então permite uma substituição fácil no local, aumentando assim o tempo de vida da cadeira de rodas. As rodas traseiras são muito parecidas a as bicicletas de montanha no que diz respeito ao tamanho e ao seu relevo e dimensões. As rodas frontais são construídas em borracha maciça e são mais largas que as tradicionais, o que permite uma boa distribuição do peso, permitindo deste modo, uma boa condução em todos os tipos de terreno. Permite igualmente um ajustamento da posição das rodas traseiras, melhorando a estabilidade da cadeira de rodas, ou o tipo de condução. A posição das costas e do banco foram pensadas para diminuir as possibilidades de queda do utilizador, em casos de paragem brusca. As rodas frontais são mais espessas que as tradicionais permitindo assim que o utilizador não tenha dificuldade em ultrapassar, gradeamentos para escoar a água, e outros pequenos defeitos da superfície. Em resultado de todas estas características, estas cadeiras de rodas permitem que o utilizador percorra qualquer tipo de terreno, desde passeios, terrenos em areia e até descida de escadas sem ajuda de terceiros. Esta cadeira de rodas possibilita ainda a montagem na sua parte frontal de um sistema que a torna em tudo semelhante a um sistema alternativo de locomoção com as mãos.



Figura 2.19 - Cadeira de rodas "*RoughRider*"

3 Planejamento Conceptual

3.1 Casa da qualidade (QFD, Quality function deployment)

O QFD foi desenvolvido por Shigeru Mizuno e Yoji Akao, no final dos anos 1960, com o intuito de resolver problemas de falta de clareza, para determinar a qualidade de projetos e assegurar que a satisfação do cliente fosse parte do projeto do produto [33].

Esta ferramenta pode ser utilizada em produtos em desenvolvimento, em produtos já existentes ou ainda em serviços do ponto de vista de segmentos de mercado, empresa ou tecnologia de desenvolvimento de necessidades. Para além disso, apresenta como principal vantagem traduzir vários aspectos do projeto em matrizes e gráficos que são mais fáceis de analisar.

O QFD é um método estruturado no qual as exigências do consumidor são traduzidas em especificações técnicas apropriadas para cada estágio do desenvolvimento do produto e do processo produtivo. O QFD é usualmente entendido como a percepção e o entendimento da voz do consumidor [33].

O QFD é desenvolvido por uma equipa multidisciplinar e visa, através desta metodologia, traduzir em características do produto, as necessidades expostas pelos clientes. Com este método diminuem as taxas de insucesso no lançamento de novos produtos, tal como, aumenta a eficácia do próprio processo de desenvolvimento (menores custos e duração do ciclo de lançamento). Em suma, possibilita encaminhar as decisões de forma a obter produtos ganhadores, capazes de ir de encontro às necessidades e expectativas dos clientes e superar a concorrência.

3.2 Inovações Introduzidas

No projecto desenvolvido pretendeu-se que a cadeira de rodas se adaptasse facilmente às medidas antropométricas do utilizador, utilizando menos materiais quando comparado com as outras cadeiras já existentes. Para que existisse uma diminuição do material utilizado, o sistema de fecho (compactação) e de ajustamento (adaptabilidade) teve de sofrer alterações conceptuais profundas. Permitindo que o sistema se adaptasse às medidas do utilizador sem recorrer a montagens de tubos dentro de tubos utilizados nos sistemas tradicionais. Diminuindo assim, o peso total, da cadeira de rodas.

Outro desafio projectual em relação aos outros produtos deste tipo, residia na capacidade de compactação efectiva de uma cadeira dotada de um banco rígido. As cadeiras, disponíveis no mercado, de banco rígido ou não permitem compactação (como no caso das cadeiras de rodas de posicionamento) ou apenas possibilitam o rebatimento das costas (como no caso das cadeiras de rodas desportivas).

Em relação ao sistema de locomoção desta cadeira de rodas, esta foi concebida de modo a permitir a montagem de um variador de velocidade, que possibilite ao utilizador uma diminuição na potência utilizada para locomover a mesma. Este sistema visou possibilitar uma diminuição no aparecimento de lesões articulares ao nível dos membros superiores, uma vez que resultava em menos esforço nestas articulações. Pretendeu-se igualmente, permitir ao utilizador ultrapassar obstáculos, que em outras cadeiras de rodas se tornariam difíceis de transpor, tal como rampas de grande inclinação. O variador de velocidade aumenta o peso da cadeira de rodas no seu global, mas esse aumento é compensado pela diminuição da potência necessária para a movimentar.

3.3 Requisitos do Consumidor

Os requisitos apresentados por um cliente para cadeiras de rodas, que acompanhe o crescimento do utilizador dos 6 anos até à fase adulta, são muito parecidos aos apresentados por um cliente das cadeiras de rodas ditas standard. Contudo, os elementos segurança e, principalmente, a durabilidade ganham maior destaque. Para além disso, acresce um factor essencial que é permitirem o seu ajustamento e adaptação às medidas antropométricas do utilizador ao longo de toda a fase do seu crescimento.

3.3.1 Segurança

A segurança é provavelmente a característica mais importante nos produtos a desenvolver, porque implica o sucesso ou insucesso. No que diz respeito à cadeira a segurança torna-se ainda mais importante devido ao seu tipo de público-alvo. Para além disso, está relacionada com muitos aspectos tal como a estabilidade e o sistema de compactação. No projeto a desenvolver é necessário, especial atenção à cadeira de rodas com dimensões reduzidas uma vez que a sua estabilidade em princípio vai ser inferior quando comparada com a sua dimensão máxima.

3.3.2 Durabilidade

A durabilidade nas cadeiras de rodas é sempre um aspecto muito importante, ganhando ainda mais importância em projectos com estas características. O tempo de vida espectável para o produto é, pelo menos, idêntico ao período de crescimento do utilizador, neste caso 12 anos. Devido a este intervalo temporal elevado foi preciso ter em consideração elementos articuláveis e reguláveis, assim como, os materiais utilizados nos diversos componentes. Foi ainda necessário, ter em linha de conta que os elementos projectados, devem permitir uma fácil substituição em caso de danificação.

3.3.3 Flexibilidade/Adaptabilidade

A flexibilidade/adaptabilidade é entendida como a capacidade da cadeira de rodas se adaptar aos diversos tamanhos do ocupante. Os ajustamentos às variações de tamanho têm de ser conseguidas através de movimentos simples e intuitivos. A forma de adaptação pode ser conseguida através do modo discreto ou contínuo.

3.3.4 Mobilidade

A cadeira de rodas é o principal meio de mobilidade para pessoas com problemas motores ou mentais. Este aspecto ganha grande importância num projecto deste tipo uma vez que a cadeira tem de garantir uma boa mobilidade nos vários tamanhos. Os aspectos que influenciam a mobilidade estão relacionados com a largura, o comprimento e a altura da cadeira de rodas tal como o sistema de locomoção utilizado.

3.3.5 Portabilidade

A portabilidade é um dos aspectos mais importantes para os clientes que têm uma vida muito activa. Para tal, foi necessário conceber uma cadeira de rodas que fosse fácil de fechar e arrumar ou transportar nos meios de transporte pessoais ou públicos. Nos transportes pessoais para conseguir uma redução do espaço ocupado, muitas cadeiras de rodas possuem quadros dobráveis. No que diz respeito aos transportes públicos, as cadeiras possuem adaptações no seu quadro que basicamente consistem em incorporar pequenas placas que melhoram a sua estabilidade, conforme se pode observar na Figura 3.1.

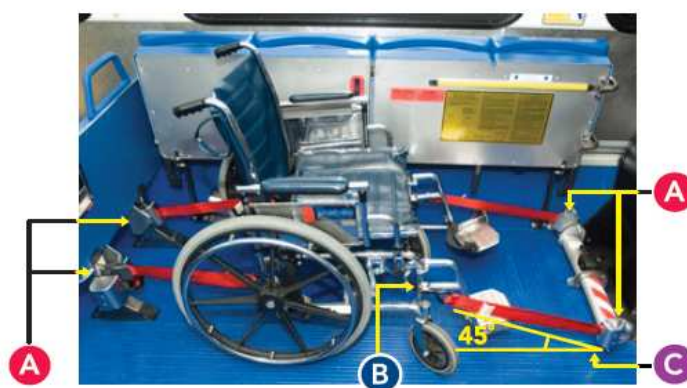


Figura 3.1 - Sistema de segurança utilizado em transportes públicos

3.3.6 Conforto

As cadeiras de rodas têm de ser, o mais confortáveis possíveis, considerando que normalmente os utilizadores se encontram sentados quase a totalidade do dia. Este facto tem influência no que diz respeito às formas utilizadas e aos materiais utilizados no projecto e desenvolvimento de elementos como o assento, apoio de costas e apoio de pernas.

Outro aspecto a ter em atenção foi o posicionamento do ocupante, para tal foi preciso dar atenção aos ângulos existentes entre o apoio de costas e o assento e entre este e o apoio de pés.

3.3.7 Volumetria

No que diz respeito às cadeiras de rodas, a volumetria confere um aspecto importante na deslocação das pessoas dentro e fora de casa. Por exemplo, quando a cadeira

de rodas é muito grande, como no caso das cadeiras do tamanho XXL, estas apresentam algumas dificuldades nas mudanças de trajetória nas partes mais estreitas, nomeadamente no interior da habitação. A volumetria é igualmente importante no fecho, arrumação e acomodação da cadeira de rodas.

3.3.8 Aspecto Formal

O público-alvo inicial é bastante jovem, como tal a cadeira teve de ter em atenção aspectos de carácter apelativo como a cor, a utilização de jantes com desenho mais atraente, geometria do assento e costas. Mas o aspecto formal também é importante no caso do público mais adulto. Os produtos actuais, não podem ficar restritos à sua funcionalidade, têm de ser apelativos e diferentes dos demais existentes no mercado, para se destacarem e despertar o interesse junto de potenciais utilizadores.

A tabela seguinte apresenta em resumo os elementos ordenados segundo a sua importância. A seriação de importância destes elementos foi estabelecida através da análise da informação obtida no primeiro capítulo e da diversa documentação em artigos científicos.

Tabela 3.1 - Requisitos do Consumidor

Requisitos do Consumidor
Segurança
Conforto
Durabilidade
Flexibilidade/Adaptabilidade
Volumetria
Mobilidade
Portabilidade (Transporte Carro)
Aspecto Formal

Em primeiro lugar, foi realizada a matriz da qualidade (

Figura 3.2), na qual é necessário fazer a correlação entre os requisitos dos clientes e as especificações do produto. A correlação pode ser forte (9), média (3), fraca (1) ou ainda não existente (0).

Matriz da Qualidade	Idi = Periodização	Desempenho			Dimensionamento				Outros				EI=Avaliação Estratégica	MI=Avaliação da concorrencia	Idi=Priorização revista	
		Força para locomoção	Travão	Quadro	Peso	Altura do Assento	Profundidade do Banco	Largura da cadeira	Altura de Apoio de Costas	Tipo de rodas	Modular	Geometria Do anel				Inclinação roda
Segurança	9		9	3								3		1,5	1,5	13,5
Conforto	8	9		9	3	3	3	3	3			3		1,5	1,5	12
Durabilidade	7	3		9	9					3				2	1,5	12,1
Flexibilidade/Adaptabilidade	6			9		3	9	3	3		9			2	1	8,5
Volumetria	5			3		3	3	3	1	3			3	1,5	1,5	7,5
Mobilidade	4	9		3	9	1	1	9		3		9	9	1,5	1,5	6
Portabilidade (Transporte Carro)	3			9	9	1	9	9	3		3		3	1,5	1,5	4,5
Aspecto Formal	2			9						9		1	1	1,5	1,5	3
Especificações																
Iqj		1,98	1,21	4,41	2,39	0,94	1,81	1,78	0,82	1,03	0,9	1,33	0,93			
Análise Competitiva		1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1			
Dificuldade de actuação		1,5	1	2	1	1	1,5	1,5	1	1	1	1	1,5			
Iqi*		2,42	1,21	6,24	2,93	0,94	2,22	2,18	0,82	1,03	1,1	1,63	1,13			

Figura 3.2 - Matriz da qualidade

Em seguida, para determinar as áreas de actuação que devem deter maior atenção, foi necessário realizar uma avaliação competitiva e uma análise estratégica. Para estes dois índices foram estabelecidos os factores de 1, 1,5 e 2 para a correlação de normal, bom e elevado respectivamente. Através desta análise foi possível determinar os aspectos prioritários a serem corrigidos. (Figura 3.3).

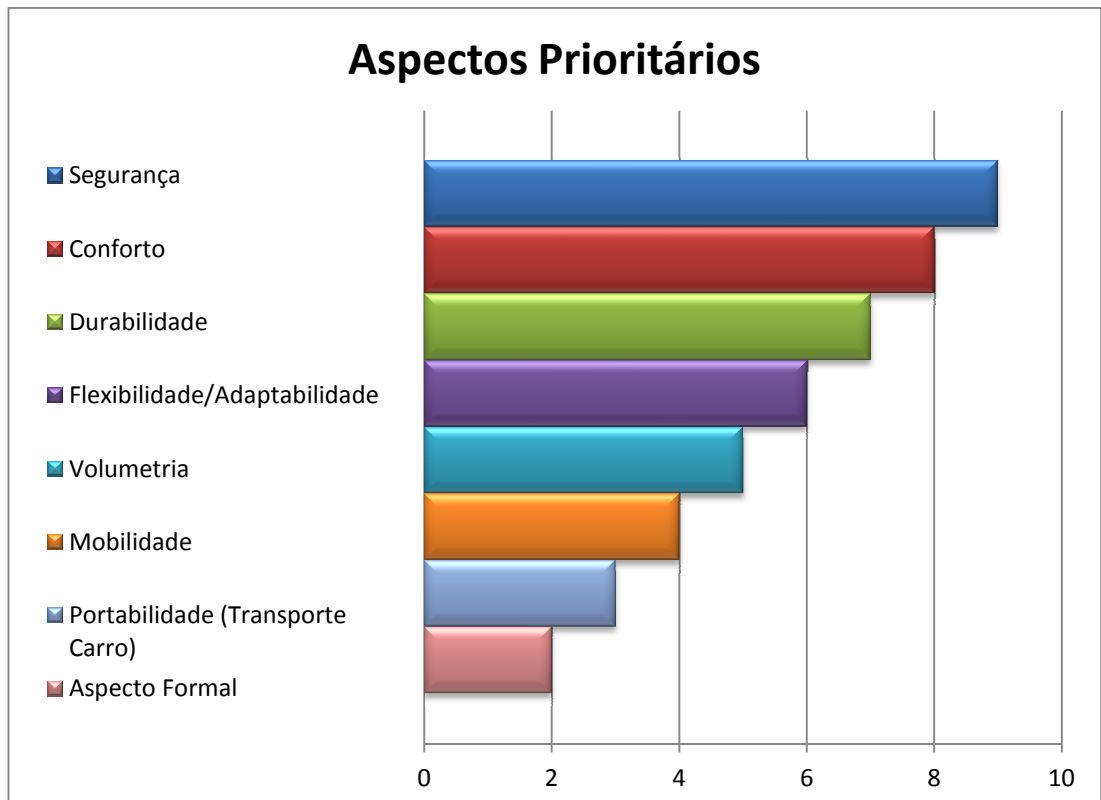


Figura 3.3 - Aspectos prioritários na óptica dos consumidores

Verificou-se que a segurança foi o aspecto mais importante na óptica do consumidor, o qual se encontra relacionado com vários aspectos da cadeira de rodas. De seguida surgem o conforto e a durabilidade.

A ordem de priorização dos requisitos do consumidor foi corrigida, em função da avaliação estratégica para o produto considerando a avaliação comparativa com a concorrência, isto para todos os aspectos. Estes dois campos são avaliados entre 1, 1,5 e 2, sendo assim possível obter os novos dados corrigidos que serviram de base para o desenvolvimento de um novo produto (Figura 3.4).

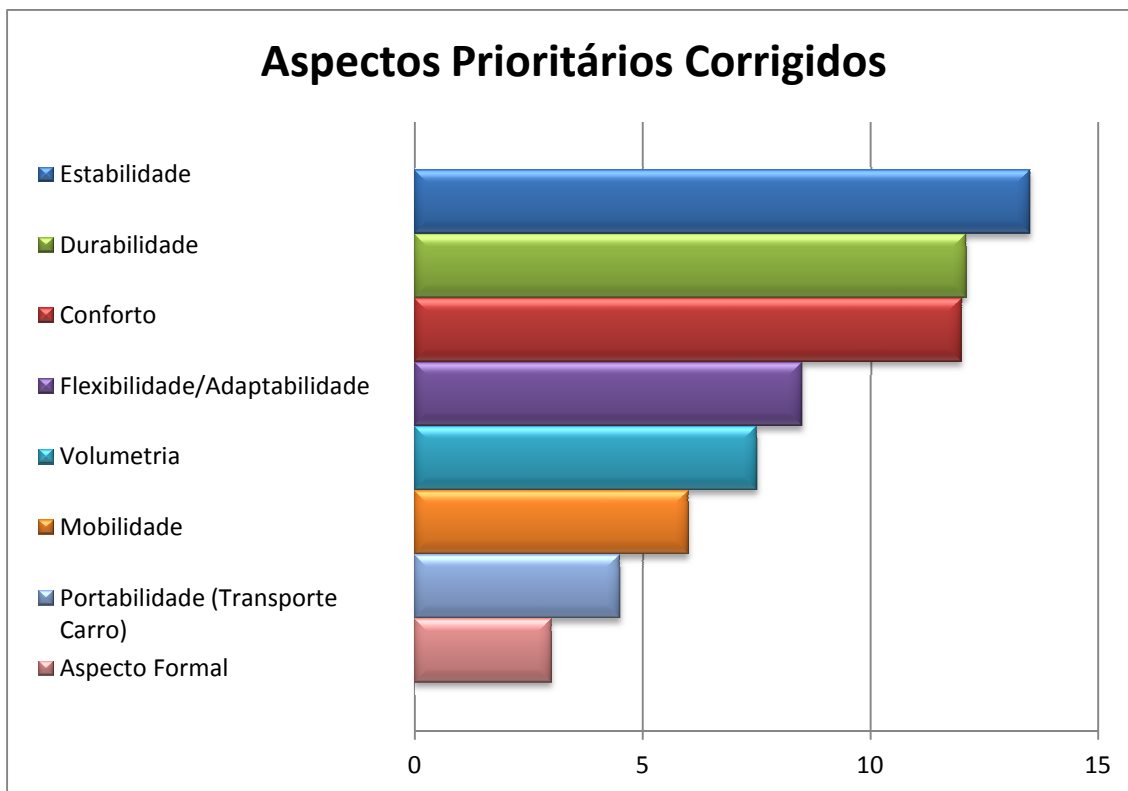


Figura 3.4 - Aspectos prioritários Corrigidos

A segurança continuou a ser o aspecto mais relevante após a correcção dos aspectos prioritários. A única alteração que existe entre o gráfico dos aspectos prioritários e os aspectos corrigidos é a troca da durabilidade com o conforto, sendo este um dos aspectos fundamental para uma cadeira que pretende acompanhar o utilizador durante um espaço temporal alargado.

Para a realização da matriz do produto é preciso ter em conta as especificações do mesmo. É necessário dividir o produto, neste caso a cadeira de rodas, nos vários elementos e fazer a correlação entre as especificações e os diversos componentes. A correlação pode ser forte (9), média (3), ou fraca (1) ou ainda não existente (0).

Matriz do Produto	Idi = Priorização	Desempenho			Dimensionamento				Outros				Ipi = Importância das partes	F1 = Facilidade de desenvolvimento	Ti = Tempo de desenvolvimento	Ipi* = Priorização	
		Força para Locomoção	Travão	Quadro	Peso	Altura do Assento	Profundidade do Banco	Largura da cadeira	Altura de Apoio de Costas	Tipo de rodas	Modular	Geometria Do anel					Inclinação rodas
Iqi*		2,4	1,2	6,2	2,9	0,9	2,2	2,1	0,8	1	1,1	1,6	1,1				
Tipo de assento				3	3		3	3			3			44	1	1,5	53,9
Sistema de Travagem/Bloqueio			9		3					3	9	3	1	38,8	1	2	54,8
Apoio dos Pés				3	1	3	3				9			41,1	1,5	1	50,3
Apoio de Costas				1	1		3		9		9		9	43,4	1,5	1	53,2
Rodas Traseiras		3	1	3	3			3		9	1		3	56,4	1	1	56,4
Rodas Frontais		3		3	1	3	3			3	1			42,6	1	1	42,6
Sistema Locomoção Externa		9	1		1		9		3					48,4	1	1	48,4
Variador de Velocidade		9	9		3					3	3	3	3	56,3	1	2	79,6
Apoio de Braços		1		3	1		1			1	9	3		42,1	1,5	1	51,6
Sistema se Locomoção Principal		3		1	1	3	1	1	3	3		9	3	47,4	1,5	1	58

Figura 3.5 - Matriz do Produto

No que diz respeito à área de esforço projectual em resposta às necessidades dos clientes tem de se ter em linha de conta o índice da dificuldade de actuação. Este pode ter um peso de 1,1,5 e 2. Com a correlação de todos os dados foi possível determinar as áreas de actuação no projecto de modo a obter o melhor produto possível. Na Figura 3.6 foram apresentadas as características mais importantes para a criação de um produto diferenciado dos demais existentes no mercado.



Figura 3.6 - Áreas de actuação em resposta às necessidades do Cliente

Com a análise do gráfico, verificou-se claramente que o quadro tem uma enorme importância no desenvolvimento da cadeira de rodas, uma vez que os vários elementos são acoplados a este. O quadro é um dos principais responsáveis pelo conforto do utilizador pois os ângulos entre os diversos elementos são fundamentais para diminuir pressões localizadas. O quadro relaciona-se igualmente com a portabilidade da cadeira. Existem outros factores com alguma importância, como o peso, sendo que este é muito influenciado pelos materiais utilizados e como a força para locomoção que está directamente relacionada com o sistema de locomoção utilizado.

Tendo as características do projecto determinadas em termos de importância, procede-se ao agrupamento das mesmas. Esta divisão tem como finalidade simplificar o processo criativo, criando, desta forma, um sistema mais sistemático. Tendo, ainda, em linha de conta a facilidade e o tempo de desenvolvimento dos componentes é possível determinar quais as áreas que necessitam de maior intervenção durante o projecto.

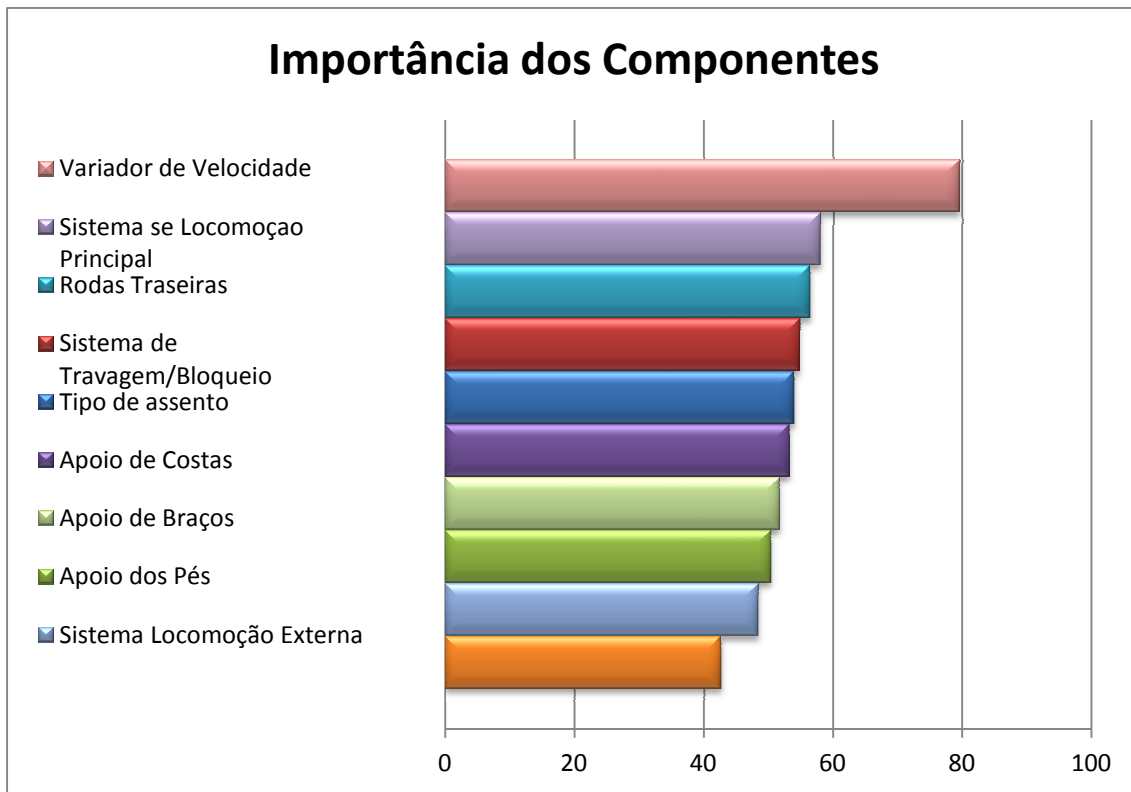


Figura 3.7 - Importância dos componentes

O aspecto mais importante para o desenvolvimento do produto em causa é o variador de velocidade, essencialmente devido ao consumo de tempo que envolve o seu desenvolvimento (Figura 3.7). Este é e foi sem dúvida o componente que exigiu maior atenção. Os outros elementos da cadeira de rodas têm importância semelhante, apenas destacando-se o sistema de locomoção externa que apresenta uma menor importância devido à sua simplicidade.

4 Especificações do Produto

4.1 Faixa da População

Grande parte das cadeiras de rodas de crescimento que se encontram no mercado não acompanha, de forma efectiva, o crescimento do utilizador. Mais propriamente da fase de criança até a fase de adulto. Geralmente estas cadeiras encontram-se separadas por faixas etárias, como por exemplo 3-6, 6-12, 12-18 anos. Por este motivo o principal objectivo é conseguir o desenvolvimento de um produto que consiga acompanhar o ocupante dos seis anos de idade até à idade adulta e durante esta. Para tal, foram analisados os gráficos referentes ao crescimento e ao peso para a população portuguesa (Gráfico 4.1 e 4.2). Para definir as medidas do utilizador padrão utilizou-se como referência o percentil 50 de uma criança de seis anos e a sua curva de desenvolvimento até um jovem adulto de 18 anos. Sendo assim possível seleccionar a melhor solução para os vários elementos constituintes, da cadeira de rodas. O jovem de 6 anos apresenta uma altura padrão de 1,15m e um peso de 20 kg e em jovem adulto de 18 anos uma altura de 1,76m e um peso de 67 kg.

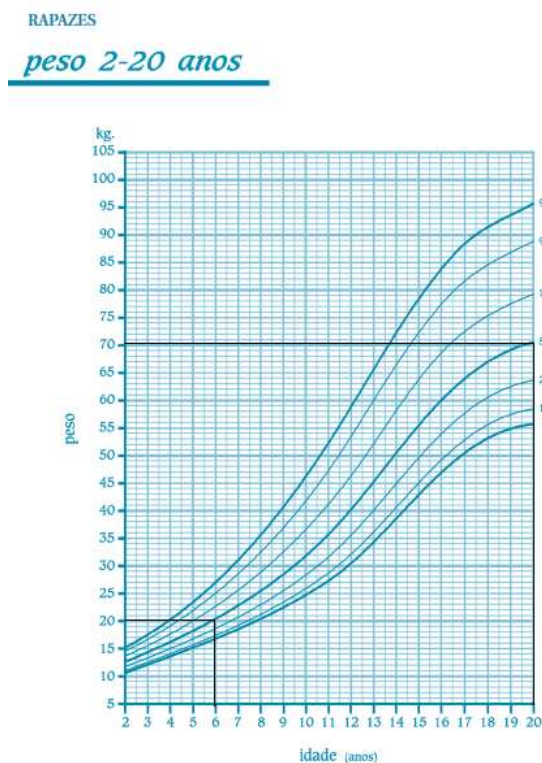


Gráfico 4.1 - Gráfico de Crescimento (Peso)

RAPAZES

estatura 2-20 anos

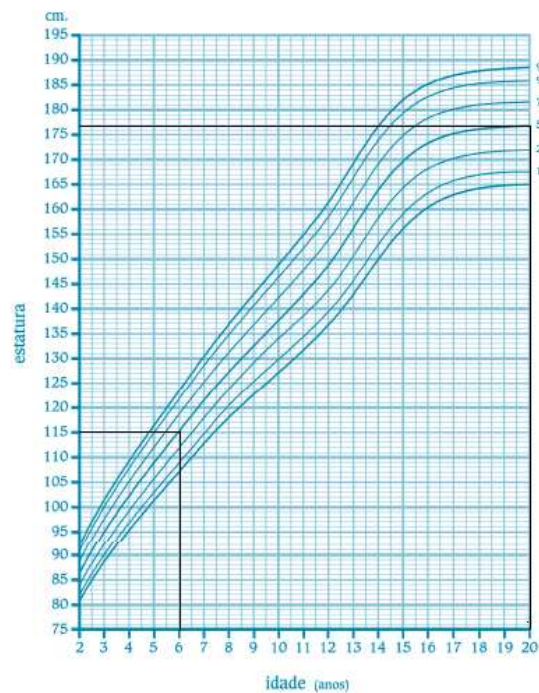


Gráfico 4.2 - Gráfico de Crescimento (estatura)

Com a análise destes dois gráficos foi possível verificar a fase de crescimento mais acentuada desde dos 6 anos até à fase adulta, ou seja, os 18 anos. Para conseguir desenvolver uma cadeira de rodas de crescimento, foi necessário saber as medidas antropométricas na posição para os dois casos extremos, os 6 anos e os 18 anos, para um percentil 50. As medidas intermédias são necessárias porque nem todos os componentes da cadeira de rodas, podem ter variação de um modo contínuo. Na Figura 4.1 estão representadas as medidas antropométricas mais importantes para o desenvolvimento do produto.

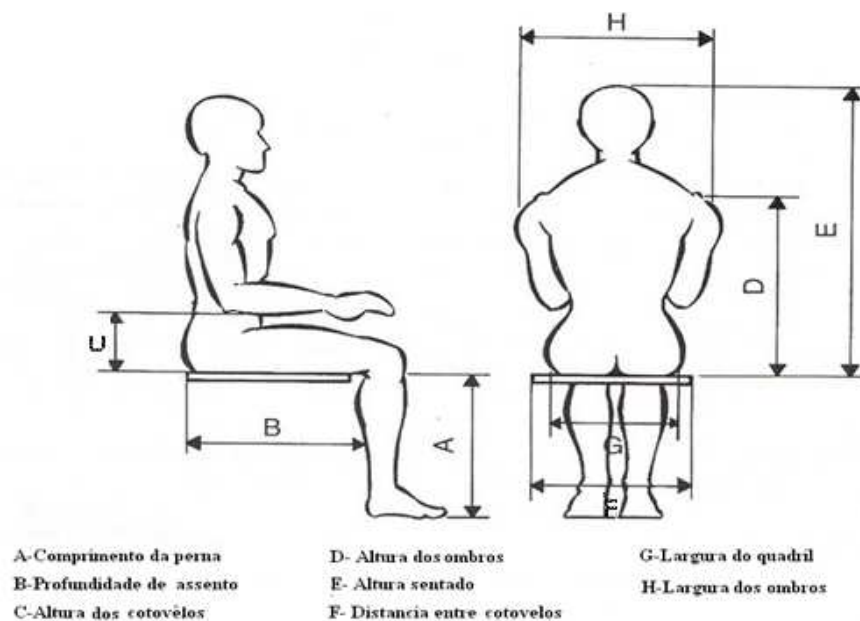


Figura 4.1 - Figura com medidas antropométricas

As medidas antropométricas apresentadas na Tabela 4.1 são referentes à população norte-americana, sendo estas ligeiramente superiores à média da população portuguesa. Verifica se que em quase todas as medidas existe uma relação similar, entre a medida antropométrica da criança e do jovem adulto.

Tabela 4.1 - Medidas antropométricas

	Criança (6anos) percentil 50	Jovem adulto (20) percentil 50
A - Comprimento de pernas	313	438
B - Profundidade do assento	345	493
C - Altura dos cotovelos	165	238
D - Altura dos ombros	406	580
E - Altura sentado	644	920
F - Distância entre cotovelos	316	451
G - Largura de quadril	212	357
H - Largura de ombros	288	403

4.2 Elementos reguláveis

No que diz respeito aos elementos reguláveis da cadeira de rodas, estes devem permitir regulações de quase todos os elementos estruturais, para que se adaptem melhor à fisionomia do utilizador. A variação da altura do banco da cadeira de rodas ao chão é conseguida através da substituição/alteração da posição das rodas frontais e traseiras. As rodas traseiras também permitem pequenos ajustes longitudinais, possibilitando assim que ao utilizador ajustar as suas preferências para uma maior estabilidade ou melhoria na capacidade fazer manobras.

O apoio de costas vai possibilitar, uma variação da posição da altura sendo esta conseguida através de uma regulação discreta. Já a variação da largura do apoio de costas só pode ser obtido por troca deste elemento, existindo três medidas possíveis que abrangem a totalidade das necessidades dos ocupantes. O banco também vai ser realizado através de um sistema modular, existindo três módulos. O apoio de braços, tal como o apoio de pés, foi projectado de modo regulável.

4.3 Tipo de Regulações

As regulações do produto, devem ser fáceis e intuitivas. Para permitir que o utilizador ou uma terceira pessoa efectue a alteração de dimensões, utilizando pouca energia e o mais rapidamente possível. A cadeira de rodas irá possuir dois tipos de ligações: contínuas e discretas. O tipo regulação, em cada sistema, foi pensado de modo a garantir o melhor conforto do utilizador e a facilidade de variação de dimensão dos componentes com o menor número de movimentos possíveis.

4.4 Facilitador de mobilidade

O facilitador de mobilidade consiste num desmultiplicador de velocidade semelhante ao que é utilizado nas bicicletas citadinas, podendo o sistema ser interno ou externo. O facilitador tem como principal finalidade a diminuição da força necessária para deslocar a cadeira de rodas permitindo, assim, que o utilizador tenha uma mobilidade, mais efectiva. Esta diminuição da força inerente à deslocação da cadeira de rodas permite diminuir o aparecimento de lesões nas articulações do braço. Os requisitos base a cumprir por este tipo de sistemas é apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Requisitos Facilitador de Mobilidade

Requisitos Facilitador de Mobilidade
1.Segurança
2.Baixo Custo
3.Durabilidade
4. Peso
5. Fácil montagem
6.Compacto
7. Eficiência

No que se refere à segurança, o sistema não deve ter partes expostas. O seu custo deve ser baixo, para que o custo total da cadeira de rodas não seja muito avultado e tem de apresentar um tempo de vida, pelo menos, idêntico às soluções actualmente comercializadas.

O peso do sistema não pode ser elevado, para que o benefício obtido a nível da potência necessária para deslocar a cadeira de rodas, não seja anulado pelo peso extra. Tem de ser de fácil montagem, para que na existência de problemas seja possível a substituição ou para facilitar a reparação. Para além disso, o facilitador de subidas necessita de ser um sistema compacto, para que não aumente a largura total da cadeira de rodas de modo a não dificultar as manobras do utilizador, principalmente, em casa.

4.4.1 Dimensionamento do esforço desenvolvido em subida

Para o cálculo da força despendida no movimento da cadeira de rodas temos de ter em linha de conta alguns elementos base.

- O peso conjunto da cadeira de rodas e do utilizador foi estimado em 97 kg (67kg para o utilizador e 30 kg para a cadeira de rodas)
- Deve ser capaz de ultrapassar uma inclinação máxima de 8° com 5 metros de comprimento ou 6° com 10 metros de comprimento (as duas rampas de acordo com legislação portuguesa)

- Para os cálculos foi considerada uma cadeira com rodas standard de 22'' (55,88cm)
- O contacto médio por movimento de impulso (*stroke*) da mão com o anel numa subida de 5 ° é de 94.1 graus, a uma velocidade média de 0.7 m/s .[15]
- Foi considerada um *stroke* por segundo[15, 34-35].

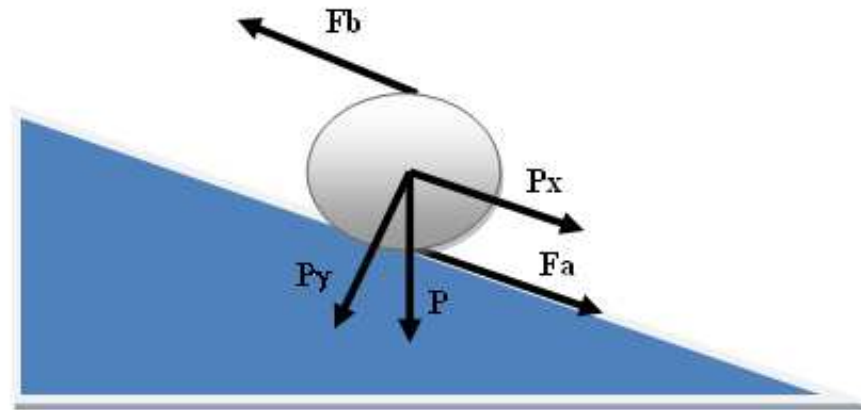


Figura 4.2 - Diagrama de corpo livre

Foi calculada a força necessária para deslocação da cadeira de rodas sem o facilitador de mobilidade. Para os dois casos distintos: a subida de 8° com 5 metros e a de 6° com 10m metros de comprimento.

Em primeiro lugar é preciso calcular inclinação da subida em graus.

$$\arctang(ang1) = \frac{CO}{CA} \quad [1]$$

$$\alpha(5^\circ) = 3.442$$

$$\alpha(8^\circ) = 4.593$$

Para calcular a aceleração do utilizador da cadeira de rodas em subida. Considerou-se que a velocidade inicial é de 0 e que o tempo necessário para obter uma velocidade de 0.7m/s é de 0.5 s metade do tempo entre *strokes*.

$$a = 1.4 \, m/s^2$$

Depois realizou-se a o cálculo da força necessária para deslocar a cadeira de rodas com uma aceleração de $1,4\text{m/s}^2$.

$$\sum_{i=0}^n F(i) = 0 \quad [2]$$

$$m * a = F - m * g * \text{sen}\alpha - \mu * m * g * \cos \alpha$$

$$F(5^\circ) = 207.29\text{N}$$

Em seguida, foi realizado com as mesmas fórmulas mas para o segundo caso ou seja com 8° de inclinação.

$$F(8^\circ) = 225.03\text{N}$$

De seguida foi necessário, dividir a força por 2 uma vez que existem dois anéis de locomoção ($F_1=103.65\text{ N}$ e $F_2=112.51\text{ N}$). Verifica-se que a força necessária para deslocar a cadeira de rodas e o ocupante está muito próximo do limite da força máxima que um adulto consegue fazer, $F_m = 123\text{N}$ [15]. A distância percorrida em cada *stroke*, com uma roda de 22'' é dada por:

$$\text{Distancia percorrida} = \text{perimetro} * (94.1)/(360) \quad [3]$$

$$\text{Distanciapercorrida} = 458.12\text{mm}$$

No caso da rampa de maior inclinação, ou seja a de 8° , são necessários aproximadamente 10 *strokes*, já na rampa de menor inclinação são precisos 22 *strokes*.

A potência média necessária para deslocar a cadeira de rodas é conseguida através da equação da potência média.

A potência necessária para deslocar a cadeira de rodas é de $P_1= 189.87\text{ W}$ e $P_2= 206.12\text{ W}$, respectivamente.

4.5 Análise dos selectores de velocidade disponíveis no mercado

Os requisitos fundamentais deste componente já foram descritos na Tabela 4.2. Foram analisadas as várias soluções que o mercado disponibiliza para os requisitos pretendidos.

4.5.1 Selector com mudanças externas



Figura 4.3 - Carreto externo

É o sistema mais utilizado nas bicicletas e consiste num carreto que proporciona o deslocamento da corrente entre rodas dentadas de diferentes diâmetros. Este sistema apresenta alguns problemas, tal como o ruído, ou ainda a existência de muitas peças expostas. Também não permite a alteração de posição do selector quando se encontra parado (Figura 4.3).

Tabela 4.3 - Mudanças externas

Mudanças externas	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Facilidade na obtenção dos componentes• Baixo Custo	<ul style="list-style-type: none">• Elevado grau de manutenção• Precisa de rotação para o accionamento• Aumenta a largura total da cadeira de rodas

4.5.2 Selector com mudanças internas

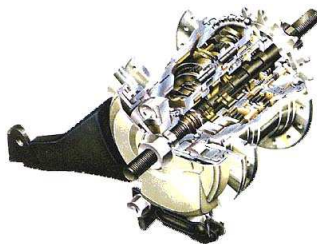


Figura 4.4 Mudanças internas Shimano®

As mudanças internas funcionam como um sistema em que a desmultiplicação é feita dentro do próprio cubo da roda. Esta desmultiplicação é conseguida através de satélites, e outros elementos. Existem muitas variantes, no que diz respeito ao número de mudanças, existindo modelos com 3 ou 14 mudanças.

Tabela 4.4 - Mudanças internas

Mudanças internas	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Reduzida manutenção• Permite a mudança de rácios parado• Facilidade na obtenção dos componentes	<ul style="list-style-type: none">• Não permite a adaptação do sistema a qualquer tipo de roda

4.5.3 Selector de mudanças automáticas



Figura 4.5 - Mudanças automáticas

Este sistema é em quase tudo similar ao anterior, uma vez que mudança de rácios é feita no interior do cubo. Mas neste sistema a variação de rácios é feita automaticamente.

A alteração da mudança é conseguida através da força centrípeta, com o aumento da velocidade de rotação este muda de rácio a utilizar.

Tabela 4.5 - Mudanças automáticas

Mudanças automáticas	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Melhor rendimento na mobilidade • Reduzida Manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado Custo • Condiciona tipo de mobilidade

4.5.4. Sistema NuVinci hub

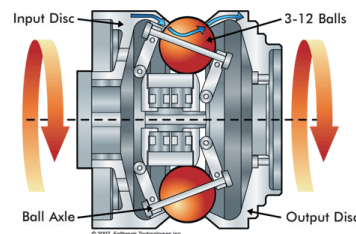


Figura 4.6 - Sistema NuVinci Hub

O NuVinci é um variador contínuo de velocidade, este tipo de sistema pode ser aplicado nas mais variadas indústrias. Tal como bicicletas, veículos eléctricos leves, tractores, automóveis, camiões, utilitários entre outros. A transmissão *NuVinci* usa um disco mandante onde a força é aplicada, sendo transmissão do movimento para o disco output conseguida através de esferas posicionadas no meio dos dois discos. A variação do rácio é conseguida pela movimentação dos apoios dos discos.

Tabela 4.6 - Sistema *NuVinci* hub

Sistema <i>NuVinci</i> hub	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Reduzida manutenção • Permite a mudança de rácios parado • Possibilidade rácios ilimitados teoricamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não permite a adaptação do sistema a qualquer tipo de roda • Sistema com rendimento inferior

4.6 Selecção do sistema selector de velocidades

Para a selecção da solução para esta aplicação específica, recorreu-se a uma matriz de decisão, representada na Tabela 4.7. Foram considerados vários aspectos como o custo, o peso, a facilidade de uso, a durabilidade e a segurança, entre outros. Estes parâmetros são avaliados entre 1,2,3 e 4 sendo 1 para o sistema preferencial no respectivo parâmetro e sendo 4 o menos preferencial, podendo existir sistemas com o mesmo nível de preferência. Para esta situação é atribuída uma avaliação semelhante.

Tabela 4.7 - Matriz de decisão

Matriz de decisão				
	Mudanças externas	Mudanças internas	Sistema de mudanças automáticas	Sistema <i>NuVinci hub</i>
Segurança	4	1	1	1
Custo	1	2	4	3
Durabilidade	1	2	3	2
Peso	1	2	3	2
Fácil montagem	4	2	2	2
Compacto	4	2	2	2
Eficiência	1	2	2	4
Total	16	13	17	16

Com a análise da matriz de decisão foi possível verificar que o sistema mais indicado para o nosso produto foi o de mudanças internas. Existem algumas marcas que fabricam este tipo de sistema, entre elas a Shimano, e a Sturmey-Archer sendo a última a pioneira, o primeiro sistema fabricado apenas tinha 3 desmultiplicações. Nos dias actuais, é possível encontrar sistemas mais complexos, no que diz respeito ao número de mudanças podendo chegar às 14 mudanças, tal como, a possibilidade de incorporação do sistema travagem.

Após uma análise do mercado foi possível concluir que o modelo Nexus 3-speed Coaster Brake Internal Gear Hub SG-3C41, da Shimano era o mais apropriado para as

nossas necessidades (Figura 4.7). Este possui três mudanças podendo, assim, ajudar o utilizador nos diversos obstáculos, tal como, em descidas, subidas e ainda em terreno plano. Sendo este também um sistema compacto e, essencialmente, económico quando comparado com outros sistemas mais complexos.



Figura 4.7 - Nexus 3-speed modelado em CATIA

O sistema da *Nexus 3-speed Coaster Brake Internal Gear Hub SG-3C41*, não permite apenas a desmultiplicação, apresentando também um travão incorporado. O sistema de travagem é accionado quando o utilizador se desloca no sentido oposto ao natural, permitindo assim a mobilidade do utilizador no sentido contrário. Na Tabela 4.8 estão representadas as principais características do *Nexus 3-speed*.

Tabela 4.8 - Matriz de decisão

Características Importantes	<i>Nexus 3-speed Coaster Brake Internal Gear Hub SG-3C41</i>
Peso	800 Gramas
Largura	105 mm
Preço	85 Euros
Rácios	0.733/1/1.364

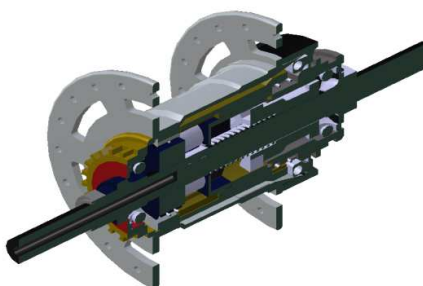


Figura 4.8 - Nexus 3-speed CATIA vista em corte

5 Desenvolvimento conceptual

Para que o desenvolvimento conceptual da cadeira de rodas adaptável ao crescimento e com variador de velocidade se realize de um modo mais efectivo, foi necessário a utilização de diversas ferramentas tais como: o quadro de soluções de ideias e análise de soluções alternativas para os mecanismos principais. O primeiro passo é a geração de um quadro de soluções, para tal é necessário dividir os vários elementos da cadeira de rodas e analisar as soluções alternativas, de modo a atingir os objectivos definidos pelo cliente. No que diz respeito às soluções de ideias alternativas para os mecanismos, foram realizados vários esboços para a melhor compreensão das ideias propostas.

5.1 Análise Morfológica

O quadro morfológico é realizado tendo em conta os elementos da matriz do produto, de modo a verificar os seus conceitos. Depois dos elementos principais estarem definidos, analisam-se todas alternativas possíveis para a realização do produto que se encontra em anexo. Algumas funções apresentam muitas soluções como tal serão analisadas em maior detalhe numa fase posterior, como por exemplo, o caso da adaptabilidade e o sistema de compactação e fecho da cadeira de rodas.

5.2 Mecanismos

O que difere esta cadeira de rodas das demais existentes no mercado é capacidade de se adaptar ao utilizador ao longo do seu crescimento de uma forma efectiva durante um espaço temporal elevado. Para tal, foi necessário ter em linha de conta o sistema de adaptação e os mecanismos de regulação necessários para esse efeito. Para que esta cadeira de rodas também seja uma mais-valia no mercado, esta deverá possuir um banco rígido e um quadro dobrável. Em seguida, são apresentadas as várias opções disponíveis para permitir que o produto se enquadre nas especificações.

5.2.1 Adaptabilidade

Foram analisadas diversas soluções para este mecanismo, algumas já existentes no mercado, outras completamente inovadoras para este tipo de produto. Todas as ideias não encontradas na análise de mercado, foram pensadas para simplificar o processo de adaptabilidade.

a) Sistema tradicional

O sistema tradicional de adaptabilidade consiste basicamente no movimento de tubos no interior de tubos de maior diâmetro, para permitir o crescimento da cadeira de rodas, sendo tradicionalmente este um sistema discreto Figura 5.1. Existem diversos elementos que permitem o ajustamento, como a profundidade do assento, largura da cadeira, rodas ou ainda altura do apoio de costas. Este sistema tem como inconveniente possuir muitos elementos de afinação da regulação. Outro inconveniente é o facto do utilizador mais jovem transportar um peso extra, correspondente aos sistemas extensíveis.



Figura 5.1 - Sistema Tradicional

b) Sistema em compasso

Esta ideia consiste num sistema parecido ao que é utilizado nos compassos, com as devidas diferenças. A largura da base do assento é feita através de dois elementos (1) que estão acoplados a um apoio central (2), que rodam sobre o mesmo. No que diz respeito à profundidade do assento, esta é constituída por uma estrutura (3) na qual está acoplado o apoio de pés (4), que por sua vez se encontra ligada ao apoio central (2). Este sistema permite uma redução do peso quando comparado com o sistema tradicional, mas aumentado os elementos móveis, o que torna o sistema mais complexo.

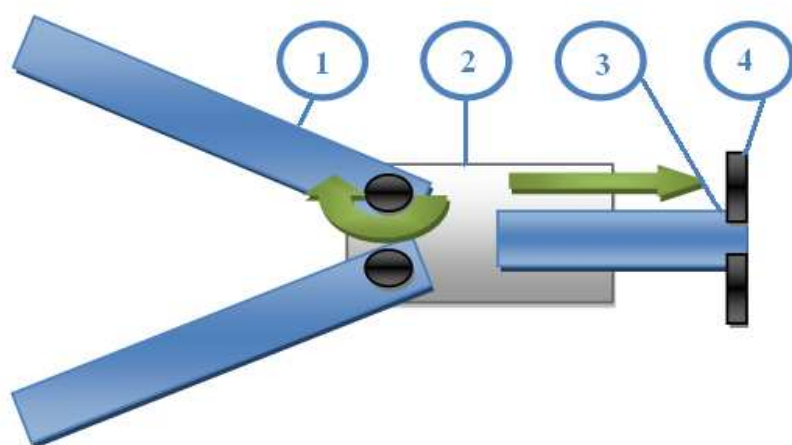


Figura 5.2 - Esquema do sistema em compasso

c) Sistema modular

Um sistema modular consiste, basicamente, num sistema que permite a substituição de alguns elementos por outros, de modo a permitir se adaptar às medidas antropométricas do utilizador. Este tipo de sistema tem como vantagem adequar o peso da cadeira de rodas às várias faixas etárias. Contudo apresenta o inconveniente da troca de muitos elementos sempre que o utilizador não se encontra confortável.

5.2.2 Sistema de compactação e fecho (Portabilidade)

A portabilidade é a capacidade da cadeira de rodas diminuir o seu tamanho de modo a ser mais facilmente acomodável quando não está a ser utilizada e poder ser mais facilmente transportada ou armazenada. Tal como o sistema de adaptabilidade foram analisadas diversas soluções, sempre tendo em linha de conta o sistema de adaptabilidade. Foram realizados esboços e ainda pequenas maquetas para verificar o funcionamento deste mecanismo.

a) Sistema tradicional em cruz

O sistema de compactação tradicional que geralmente é utilizado nas cadeiras de rodas dobráveis, consiste numa cruz que esta ligada às duas extremidades da cadeira. É um sistema apenas utilizado em cadeira de banco e apoio de costa flexíveis, Figura 5.3.



Figura 5.3 - Sistema tradicional em Cruz (Compactação)

Este sistema permite uma abertura e fecho da cadeira muito fácil e permite ao próprio utilizador realizar autonomamente estas operações.

b) Sistema de compactação (Cadeira desportivas)

O sistema das cadeiras de rodas desportivas é completamente distinto do sistema em cruz. As cadeiras de rodas desportivas permitem que as rodas sejam facilmente removíveis e que as costas sejam rebatíveis. Este sistema é muito complexo e difícil de

utilizar para pessoas com alguns tipos de patologias. Este tipo de sistema não proporciona grande economia de espaço quando a cadeira de rodas está compactada Figura 5.4.



Figura 5.4 - Sistema Cadeiras desportivas (Compactação)

c) Sistema de rotação das rodas (modelo de estudo)

Outra potencial solução de compactação que foi analisada consiste na rotação das rodas (1) para a parte inferior do banco (2) e na do apoio de pés para a parte superior, Figura 5.5. A solução desenvolvida neste estudo tinha a vantagem da diminuição do volume ocupado em comparação ao sistema de cruz ou ainda no sistema da cadeira de rodas desportivas.

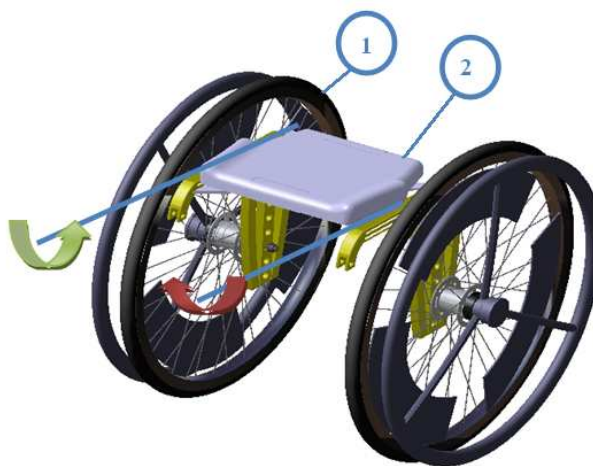


Figura 5.5 - Sistema rotação de rodas

A vantagem deste sistema tornava-se mais significativa quando a cadeira de rodas se encontrava configurada para o caso de um adulto, uma vez que o espaço ocupado pelas rodas na parte inferior do banco é superior, Figura 5.6. A principal desvantagem deste sistema residia na impossibilidade de ser o próprio ocupante a compactar a cadeira de

rodas uma vez, pois quando fazia a rotação de uma das rodas da cadeira na sua zona inferior a cadeira tornava-se instável.

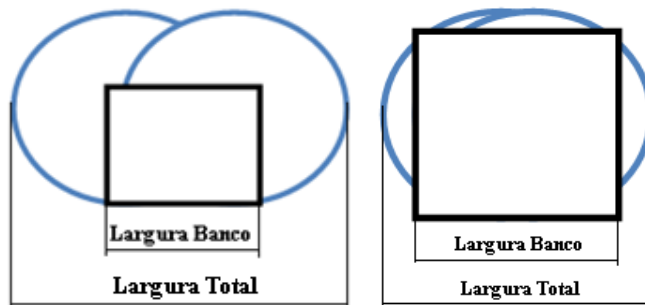


Figura 5.6 - Vista superior no caso de criança e adulto

d) Sistema de rotação dos elementos das rodas (modelo de estudo)

Para ser possível a compactação da cadeira de rodas segundo o estudo desenvolvido neste conceito, a cadeira deveria possuir apenas três rodas permitindo que a estrutura das rodas da frente (1) e a das rodas traseiras (3) rodassem e aproximassem os elementos da estrutura da cadeira e permitissem ainda o rebatimento dos apoios de costas (2), Figura 5.7. Este sistema permitia uma diminuição do volume da cadeira de rodas, mas apresentava vários problemas, tais como: não permitia a locomoção do próprio ocupante e instabilidade na cadeira de rodas.

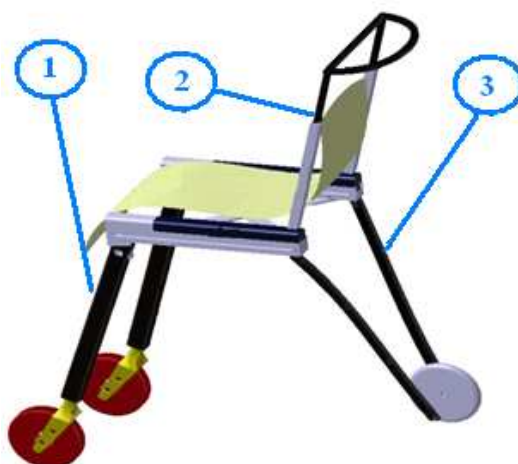


Figura 5.7 - Sistema de compactação

e) Sistema em compasso

Este sistema é o mesmo utilizado para a adaptação do ocupante, tornando possível incorporar os dois requisitos, em apenas um sistema. Utilizando o mesmo mecanismo para solucionar dois problemas, tem como principal inconveniente necessidade do utilizador ajustar a largura e a profundidade sempre que necessitar a utilizar a mesma.

5.3 Selecção da solução

Neste capítulo, efectuou-se a selecção de uma solução para cada mecanismo e elemento do produto. Nomeadamente em relação à adaptabilidade, o mecanismo escolhido foi o sistema em compasso. Este sistema quando comparado com os outros apresenta diversas vantagens, entre elas, uma diminuição no peso da total das estruturas quando comparado com o sistema tradicional. Também permite que o mecanismo seja solução, para outro requisito, como foi o sistema de compactação. A principal desvantagem desta solução é o aumento do número de elementos móveis necessários para a adaptação às medidas antropométricas do utilizador. O apoio central (1) é o único elemento fixo deste sistema, os elementos (2) rodam sobre apoio central (1). O elemento (3) roda sobre o elemento (2), possibilitando assim que as rodas se encontrem paralelas para os diversos tamanhos das cadeiras de rodas, Figura 5.8.

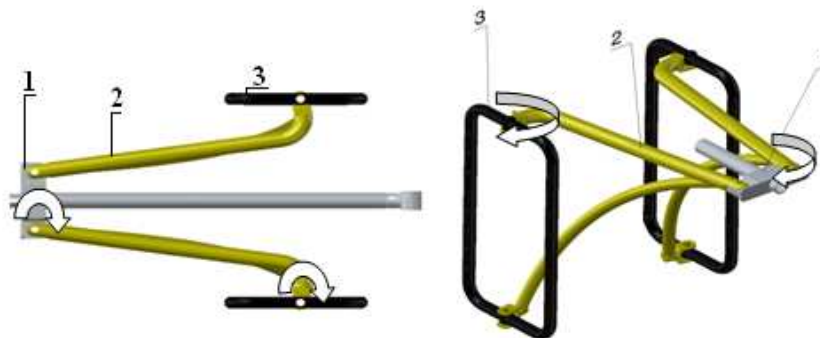


Figura 5.8 - Sistema em compasso (adaptabilidade)

Para que a adaptabilidade seja efectiva é necessário que a profundidade do banco também aumente, nesta cadeira de rodas, essa adaptação é conseguida através do apoio de pés. Para tal, estrutura da árvore do apoio de pés (4) desliza sobre o apoio central (1) aumentando assim a profundidade do assento, Figura 5.9.



Figura 5.9 - Árvore e apoio e pés (adaptabilidade)

Uma vez concluída a selecção da solução para a adaptabilidade e de compactação e fecho, ou seja, com a selecção do sistema em “compasso”, iniciou-se a escolha da solução do apoio de pés. Após uma análise, das várias soluções, a escolha recaiu numa solução de árvore única, onde estão colocados os apoios de pés. Este sistema ocupa menos espaço que o sistema tradicional e ainda apresenta um peso inferior. O apoio de pés, tal como, todos elementos da cadeira de rodas permite regulação, sendo esta realizada de um modo discreto. Este tem de permitir o aumento do comprimento (4), e o aumento da distância entre os apoios de pés (5), Figura 5.10.



Figura 5.10 - Árvore e apoio e pés (adaptabilidade)

A selecção do banco e apoio de costas híbrido está relacionada com a possibilidade de um sistema incorporar as vantagens dos bancos constituídos por módulos e adicionalmente dos bancos reguláveis. O banco é constituído por dois elementos distintos, sendo um dos elementos uma base plana com regulação contínua no que diz respeito a

largura (1) e o segundo elemento modular (2) permite a rápida substituição aumentando assim a profundidade e a largura do banco. O segundo módulo encaixa no quadro da cadeira de rodas e na árvore do apoio de pés, permitindo a estabilidade da cadeira de rodas e o alinhamento das rodas. Este segundo módulo pode ter diversos formatos de modo a proporcionar um melhor conforto ao utilizador. Os dois elementos do banco são almofadados de modo a permitir uma maior comodidade, podendo estas ter formas ergonómicas ou não, Figura 5.11.



Figura 5.11 - Banco e encaixes no quadro

O apoio de costas é constituído por três módulos, permitindo uma rápida substituição. As linhas do banco são construídas quer do ponto de vista ergonómico quer do ponto de vista do aspecto formal. Cada módulo, tem uma largura pré definida e cada um dos módulos permitirá uma regulação em altura, Figura 5.12.



Figura 5.12 - Apoio de costas

6 Solução final

Neste capítulo serão apresentados todos os elementos constituintes da cadeira, tal como a solução desenvolvida para cada sistema. Serão igualmente apresentados todos os componentes, mecanismos e montagens utilizados e, ainda, a sua validação a nível funcional e mecânico. Na Figura 6.1 e 6.2 está representada a ideia final do produto pretendido já com todos os mecanismos e sistema modelados.



Figura 6.1 - Solução Final



Figura 6.2 - Solução Final com utilizador

6.1 Desenvolvimento de sistemas e mecanismos

6.1.1 Sistema de compactação e fecho

As cadeiras de rodas mais tradicionais ditas dobráveis apenas necessitam de um movimento para o seu fecho. Já as desportivas necessitam de um maior número de procedimentos, uma vez que é necessário retirar as rodas, acomodar as mesmas e fazer o rebatimento do apoio de costas.

Na solução desenvolvida a compactação e fecho da cadeira de rodas é executada em 3 a 4 movimentos dependendo da compactação desejada. Os movimentos para a compactação são em primeiro lugar o rebatimento do banco para o apoio de costas, Figura 6.3.



Figura 6.3 - Primeiro passo de Compactação

O segundo movimento de fecho está relacionado com a rotação do apoio de costas e o banco na vertical, Figura 6.4.



Figura 6.4 - Segundo passo de Compactação

O terceiro movimento é a junção/aproximação das duas estruturas laterais da cadeira de rodas, permitindo assim uma diminuição da largura total, Figura 6.5.



Figura 6.5 - Terceiro passo de Compactação

O quarto movimento é a redução da profundidade do banco, este movimento é opcional, Figura 6.6. Quando este movimento não é realizado ajuda o utilizador a colocar a cadeira de rodas nas dimensões que se encontrava anteriormente. Este movimento opcional é ideal para a acomodação da cadeira em hospitais ou para quando não esta a ser constantemente utilizada

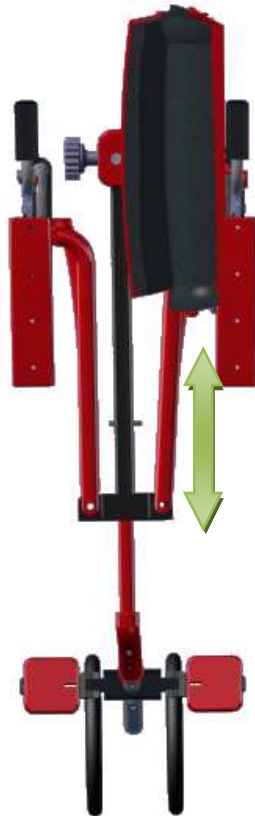


Figura 6.6 - Quarto passo de Compactação

6.1.2 Selector de Velocidade

O variador de velocidade anteriormente escolhido foi o *shimano nexus*, que apesar de já possuir um selector de velocidade não se adequava às características do projecto. Para tal, foi projectado um selector novo e específico para esta aplicação. Este é incorporado junto ao cubo das rodas e cuja selecção da mudança é efectuada pelo movimento rotacional de um manípulo posicionado horizontalmente e no eixo da roda. O que acontece dentro do selector é a transformação de movimento rotacional em movimento horizontal, através de uma calha em espiral, obrigando o cabo responsável pela variação de velocidade a deslocar

na horizontal mudando, assim, a sua posição e consequentemente a sua mudança. Em cada uma das três mudanças existe uma pequena patilha para que o utilizador da cadeira de rodas saiba onde deve parar o movimento de rotação apresentando também pequenas ilustrações no cubo para identificar a desmultiplicação seleccionada.

6.1.3 Geometria do anel

A incorporação deste variador de velocidade obrigou a repensar o anel de locomoção, nomeadamente a sua geometria. O que tornou este anel de locomoção singular, foi o facto de este não estar acoplado à jante das rodas mas sim ao próprio variador. O selector de velocidade também se encontra associado ao anel.

No que diz respeito ao local onde é aplicada a força para locomover a cadeira de rodas, foi tida em atenção a espessura do anel, sendo esta de 20 mm de diâmetro e revestida em cabedal para melhorar o atrito.

6.1.4 Posicionamento e regulação das rodas traseiras

Este elemento da estrutura é essencial para definir vários aspectos da cadeira de rodas. Em primeiro lugar permite regular a altura do banco ao solo, Figura 6.7. Permite ainda que o utilizador seleccione o posicionamento das rodas axialmente, aumentando a distância entre eixos, a qual por sua vez modifica o centro de massa da cadeira de rodas



Figura 6.7 - Posicionamento e regulação das rodas traseiras

6.1.5 Rodas frontais

Considerando que o quadro desta cadeira de rodas apresenta uma solução conceptual diferente dos sistemas tradicionais, muitos elementos tiveram de sofrer alterações. As rodas frontais nesta cadeira de rodas estão acopladas no apoio de pés, Figura 6.8. A sua posição está relacionada com o facto da árvore do apoio de pés ser o único elemento que permite ajuste na direcção longitudinal. Com o posicionamento das rodas na árvore, a estabilidade da cadeira de rodas aumenta com o crescimento do ocupante.



Figura 6.8 - Rodas frontais

6.1.6 Protecção de jante

Para tornar a cadeira de rodas mais atractiva, foi preciso ter em consideração vários factores, entre eles, a cor da cadeira de rodas, o formato do banco e a geometria da jante da roda traseira, uma vez que estes representam os elementos volumétricos com maior impacto visual. Para que o produto se torne mais apelativo para um público mais novo foram desenvolvidas, protecções para os raios das rodas. Esta solução permite a estampagem dos mais diversos elementos como, bonecos, bandas desenhadas preferidas, Figura 6.9.



Figura 6.9 - Proteção de Jante

6.1.7 Apoio de braços

O apoio de braços é um dos elementos fundamentais no conforto do utilizador, não sendo, no entanto esta a sua única funcionalidade. Os apoios de braços auxiliam igualmente nas transferências frontais, e nas transferências laterais. Para melhorar o conforto durante a utilização os apoios de braço foram concebidos para permitirem ao utilizador a sua regulação na horizontal e na altura a que se encontra do banco, Figura 6.10.



Figura 6.10 - Apoio de Braços

6.1.8 Apoio de costas

Este elemento é essencial para o conforto do utilizador, sendo constituído por três módulos diferentes, que diferem na largura e no comprimento. O apoio de costas é constituído por duas partes distintas: a parte rígida e a almofada. Permite a existência de

diversas partes almofadadas distintas, para as diversas anatomias dos clientes. O apoio de costas permite também rotações na ordem dos 30° com a vertical no máximo, a regulação da altura é efectuada por um sistema discreto.

6.2 Selecção de materiais da cadeira de rodas

Esta cadeira de rodas é constituída por diversos elementos. Para os elementos estruturais da cadeira de rodas com o quadro e apoio de pés e apoio de braços, são indicados materiais como as ligas de alumínio mais concretamente alumínio 6061, sendo esta uma das ligas mais utilizadas neste tipo de produto. Alguns elementos podem ser fabricados em polipropileno, mais especificamente o anel de locomoção, tal como alguns componentes do apoio de braços ou ainda a base do banco. O banco e o apoio de costas são depois revestidos por uma almofada de espuma (PU) e revestido em couro ou fibra (poliester ou nylon) dependendo da opção do cliente.

A cadeira de rodas quando configurada para uma criança 6 até 10, apresenta uma tara de 16 kg o que pode ser considerada uma cadeira de rodas leve, as disponíveis no mercado designadas leves possuem um peso entre 10 e 16 kg. A cadeira de rodas quando fechada (compactada) tem uma altura que vais estar dependente, dos módulos do banco e do apoio de costas, apresentando no entanto uma largura de 420 mm, considerando que cada variador de velocidade tem 110 mm. Quando utilizada a compactação, a cadeira de rodas apresenta um comprimento total de 400mm.



Figura 6.11 - Cadeira de rodas com os materiais aplicados

6.3 Análise numérica dos elementos estruturais

A simulação numérica é uma ferramenta muito importante no desenvolvimento de novos produtos, possibilita verificar a resistência dos elementos sem necessidade de um protótipo. Para a verificação da resistência de alguns elementos estruturante e articulações foram realizados simulações numéricas no CATIA V5. Para aplicação das cargas nos elementos teve se em atenção o peso máximo possível para o ocupante, mais propriamente um jovem adulto de 18 anos com 70 kg. Foi analisado dois componentes distintos, o veio do variador de velocidade e a estrutura de apoio. O segundo para toda a estrutura do quadro.

a) Variador de velocidade

Nesta análise foi analisado apenas um dos lados, a força aplicada no veio é $F_m = \frac{P}{2} * \gamma$ sendo γ o coeficiente de segurança para este caso de 1.5 o que resulta numa força máxima de aproximadamente 600 N. O ponto de aplicação dessa força é a superfície do veio do variador. O elemento 2 é considerado encastrado nas duas extremidade é as ligações entres os vários elementos é uma ligação rígida (*Rigid Connection Property*). O material utilizado no veio é o aço ASTM-A36 ($E = 2 * 10^{11} \text{N}_\text{m}^2$ e $\nu = 0.266$) e a liga de alumínio 6061 ($E = 7 * 10^{10} \text{N}_\text{m}^2$ e $\nu = 0.346$), com elementos parabólicos.

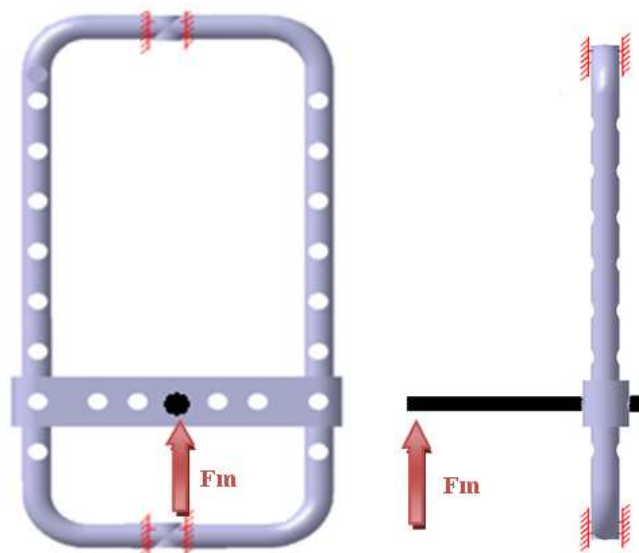


Figura 6.12 - Condições fronteira

Após a simulação é possível analisar os resultados no que diz respeito as tensões e deslocamentos.

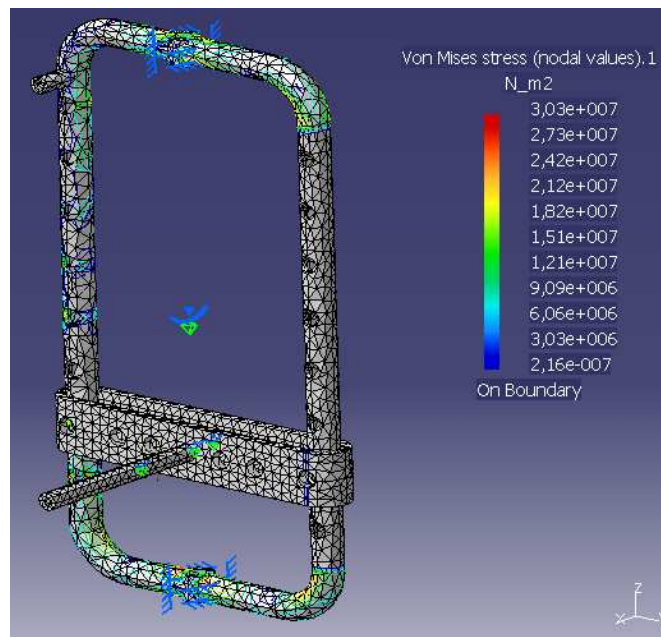


Figura 6.13 - Valores de Tensões (Von Mises)

É possível detectar que as tensões máximas ocorrem na transição de elementos, principalmente no que diz respeito as partes arredondadas e a ainda junto aos furos. Contudo são tensões de reduzida intensidade.

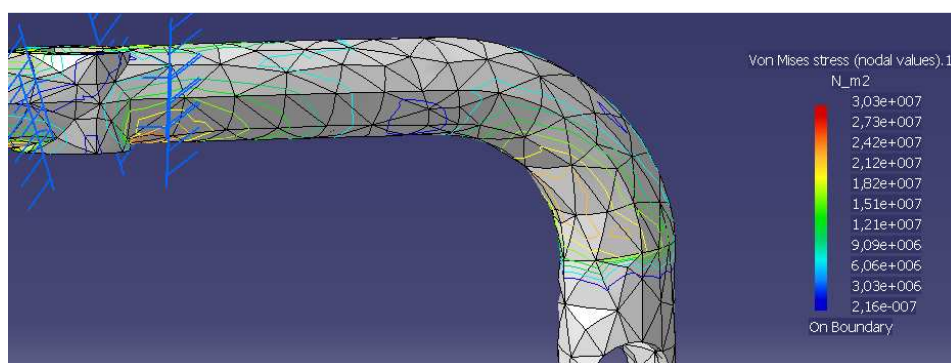


Figura 6.14 - Valores de Tensões (Von Mises) situação de maior valor

No que diz respeito aos deslocamentos o valor máximo encontra se na parte mais distante do veio, com valores inferiores a 0.1 mm

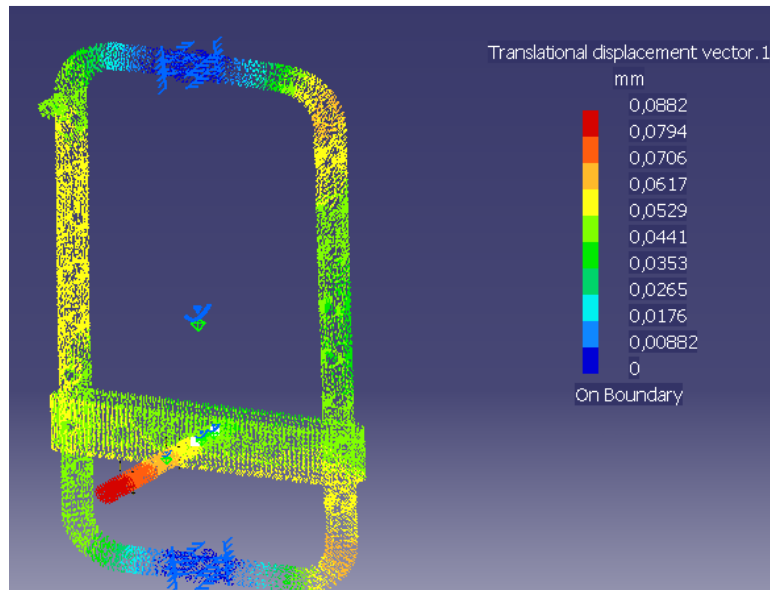


Figura 6.15 - Deslocamento dos elementos

b) Análise do quadro

Para validar a nível estrutural o quadro foi realizado uma simulação em que apenas estão colocados os elementos do quadro e o apoio de pés, a conexão entre os elementos é rígida (*Rigid Connection Property*). Encastrou-se a parte inferior do elemento que apoia as rodas e ainda a parte onde se estão instaladas as rodas, depois aplicou-se a, distribuída por os diversos elementos. Figura 6.16. O material utilizado em todos os elementos desta simulação, utilizam o alumínio 6061 ($E = 7 \times 10^{10} \text{ N.m}^2$ e $\nu = 0.346$), com elementos parabólicos.

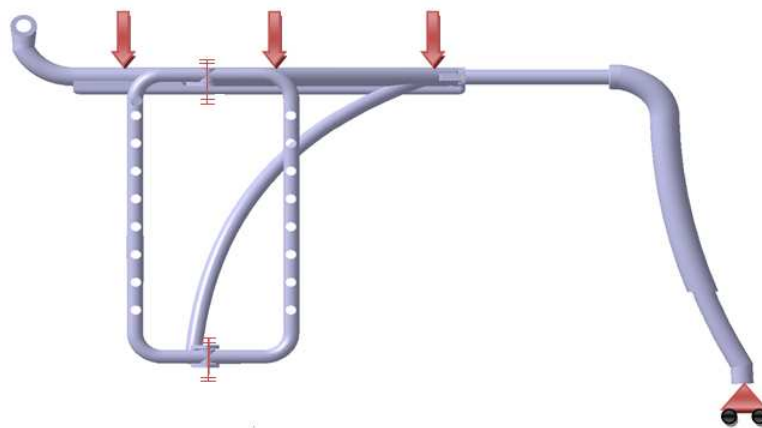


Figura 6.16 - Condições fronteira

A simulação permite verificar que o valor da tensão de von mises é de $5.72 \times 10^7 \text{ N.m}^2$, o valor máximo encontra-se no elemento central na região de ligação, com um valor muito inferior à tensão limite de elasticidade, Figura 6.17.

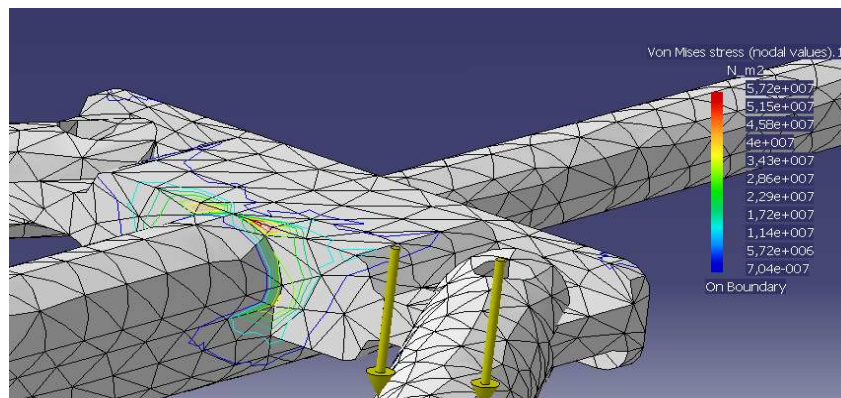


Figura 6.17 - Tensão equivalente de von Mises da estrutura

No que diz respeito aos deslocamentos o valor máximo este encontra também no elemento central com um valor máximo de 0.037mm.

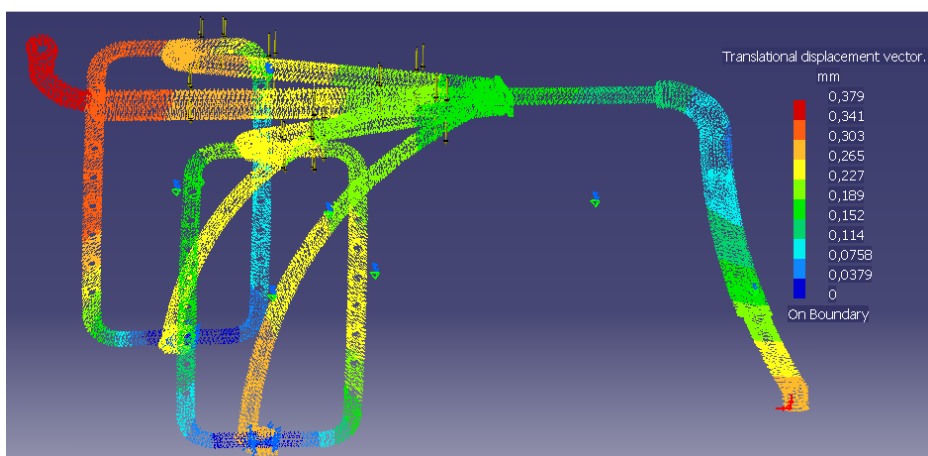


Figura 6.18 – Deslocamento

6.4 Estabilidade da cadeira de rodas

Para a segurança do ocupante é necessário analisar a cadeira de rodas no que diz respeito a estabilidade. Para tal é necessário, localização do centro de massa da cadeira e do centro de massa do ocupante. O ocupante encontrasse sempre numa posição sentada, com os respectivos ângulos de 90° , 90° e 90° . Já o centro de massa da cadeira de rodas é conseguido através do balanço de massa os valores das coordenadas dos dois corpos encontra-se na Tabela 6.1.

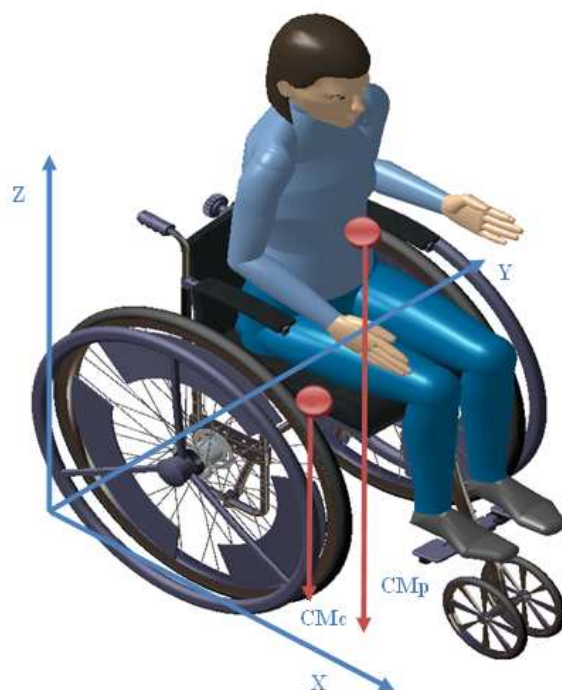


Figura 6.19 - Diagrama de corpo livre

Tabela 6.1 - Centro de massa

	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)
Cadeira de Rodas	356	265	345
Ocupante	438	265	755

Em seguida é necessário determinar o centro de massa do sistema completo.

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad [4]$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad [5]$$

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * z_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad [6]$$

Com o centro de massa do sistema já é possível determinar o equilíbrio da cadeira de rodas para diversas situações.

Tabela 6.2 - Centro de massa do conjunto

	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)
Cadeira de rodas + Ocupante	412.67	265	572

Cadeira de rodas num plano inclinado lateralmente

Considerando o plano zy é possível determinar quando a cadeira de rodas perde o equilíbrio na posição frontal. Para tal é necessário saber quando a componente do peso em x' é superior a componente ao do y, a cadeira numa posição estática.

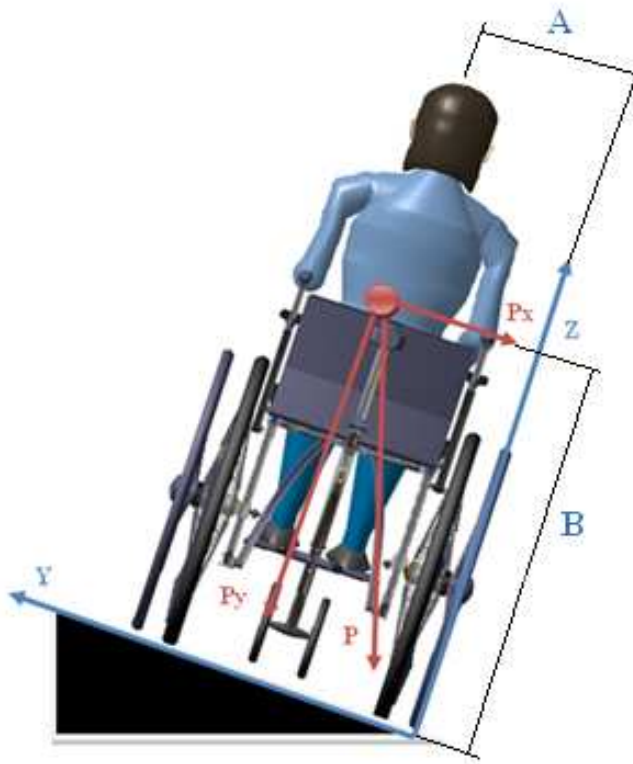


Figura 6.20 - Diagrama de corpo livre

$$\sum Mo = 0 \quad [7]$$

$$0 = -P * \cos(\alpha) * A + P * \sin(\alpha) * B \quad [8]$$

$$\tan(\alpha) = \frac{A}{B}$$

$$\alpha = \arctg(A/B) \quad [9]$$

$$\alpha = 24.5^\circ$$

Cadeira de rodas numa subida de acesso

O sistema de utilizador para determinar qual seria o ponto de viragem da cadeira de rodas é parecido ao caso anterior apenas com duas diferenças. O ponto de rotação vai ser a roda traseira, e o ponto do centro de massa é constante.

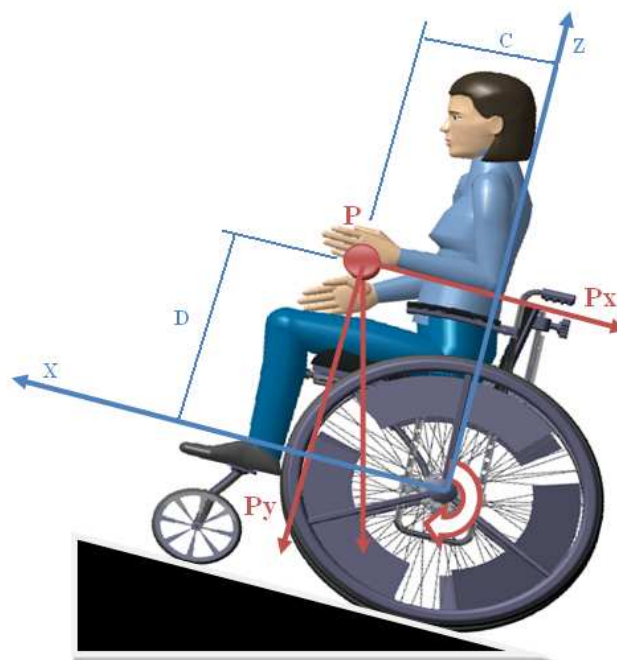


Figura 6.21 - Diagrama de corpo livre

$$\sum Mo = 0 \quad [7]$$

$$0 = -P * \cos(\alpha) * C + P * \sin(\alpha) * D$$

$$\alpha = \arctg(C/D) \quad [10]$$

$$\alpha = 13^\circ$$

Com a distância entre eixos (420 mm) é possível determinar a altura que o utilizador consegue ultrapassar sem perder o equilíbrio.

$$\text{sen}(\alpha) = \text{Distancia entre Eixos} / \text{Altura do degrau} \quad [11]$$

O ocupante consegue ultrapassar uma altura máxima de 95 mm.

6.5 Análise do modo de falha (FMEA)

A análise dos modos de falha e efeitos, denominada por FMEA, consiste num método de análise de projectos. A técnica é usada para antecipar falhas que possam ocorrer num produto, peça ou processo, permitindo actuar antecipadamente na causa para que a falha ou defeito não venha a ocorrer.

Esta metodologia pode ser aplicada à análise de produtos ou processos, sendo que no nosso caso trata-se da análise do produto. As principais etapas para a execução da FMEA são: definir o produto a ser analisado; definir as funções produto; identificar os possíveis modos de falha; identificar os possíveis efeitos de cada modo de falha e o seu efeito nas pessoas durante a utilização do produto; estimar a severidade dessas falhas; identificar as causas das possíveis falhas; estimar a probabilidade de ocorrência da falha; identificar o meio de detecção do modo de falha; estimar a probabilidade dessa falha ser detectada antecipadamente; determinar as prioridades; definir planos de acção para diminuir o risco.

Apesar desta metodologia ser aplicada à análise do produto ou do processo, de modo a facilitar o estudo e a análise do mesmo o FMEA do produto pode ser decomposto em: FMEA do Utilizador e FMEA de Produto, separando assim os efeitos resultantes com e sem impacto no utilizador.

a) FMEA do UTILIZADOR

Nesta análise são consideradas as falhas que possam ocorrer, quando o utilizador está a manejar o produto. O objetivo desta análise é evitar falhas que possam colocar em causa a segurança ou integridade física do utilizador melhorando, assim, o produto.

b)FMEA de PRODUTO

Neste tipo de análise são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projecto. O seu objectivo é evitar falhas no produto decorrentes do projecto. É frequentemente denominada também de FMEA de projecto. As aplicações do FMEA passam por:

As aplicações do FMEA passam por:

- Diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projectos de novos produtos ou processos;
- Diminuir potenciais falhas em produtos/processos já em operação;
- Analisar falhas que já ocorreram para melhorar os produtos/processos;
- Diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos.

A aplicação do FMEA inicia-se com a divisão/identificação das várias funções do produto. No caso da cadeira de rodas na óptica do utilizador e na óptica do produto, foram identificadas as funções apresentadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - FMEA funções em análise na óptica do utilizador

Função da cadeira
Regular/Ajustar as dimensões
Sentar
Fechar
Mover a cadeira de rodas
Substituir banco
Substituir Apoio de costas
Levantar

Após a identificação das funções do produto, é possível para cada uma destas, estabelecer a prioridade de intervenção, através da existência de critérios de falha. A Tabela 6.4 apresenta os valores definidos para cada critério.

Tabela 6.4 - Critérios de avaliação

Critérios de avaliação	Descrição dos critérios de validação
Falha menor	Quando existe este tipo de falha o risco é menor para o utilizador ou para o produto, e pode ou não se realizado uma correcção
Falha maior	Quando existe este tipo de falha o risco é grande para o utilizador, e é necessária a realização de uma correcção.
Falha crítica	É necessário a correcção do produto urgentemente uma vez que existe grande perigo para utilizador ou produto.

O último passo a realizar é a aplicação das acções que permitam a melhoria dos diversos sistemas. As funcionalidades do sistema são novamente avaliados pelos mesmos critérios, e depois verifica-se se houve ou não melhorias nos sistemas.

6.5.1 Análise do modo de falha da cadeira de rodas

Foi realizado o FMEA, tendo em linha de conta as funcionalidades da cadeira de rodas e do utilizador, e depois foram determinadas as médias para uma melhoria no produto.

Tabela 6.5 - FMEA

Função	Tipo de falha potencial	Causa da falha	Possíveis efeitos da falha	Termos críticos de falhas	Medidas de Correção	Possíveis acções correctivas ou medidas preventivas
Regular/Ajustar as dimensões	Dificuldade de ajuste	Tipo de encaixes utilizados	Possibilidade de ferimento do utilizador	Falha maior	Melhorar tipo de encaixe	Substituição no encaixe
Sentar	Ceder com o peso do ocupante	Banco por módulos	Possibilidade de queda	Falha Crítica	Melhorar encaixe entre módulos	Substituição no encaixe
Fechar	Dificuldade na compactação	Peso muito elevado dos elementos	Dificuldade na compactação	Falha menor	Diminuição do peso efectivo	Utilização de novos materiais
	Dificuldade na compactação	Regulação continua	Aumento do espaço ocupado	Falha maior	Mudar configuração do banco	Elemento único do assento
Mover a cadeira de rodas	Dificuldade na mobilidade	Peso excessivo e geometria do anel de locomoção	Provocar lesões nas articulações dos braços	Falha maior	Diminuição do peso total e nova geometria do anel	Utilização de novos materiais, desenvolvimento de nova geometria para o anel
Substituir banco	Dificuldade de substituição	Encaixe utilizador entre módulos	Dificuldade de substituição	Falha menor	Substituição de encaixes	Substituição no encaixe
Substituir Apoio de costas	Dificuldade de substituição	Peso excessivo	Impossibilidade de substituição	Falha menor	Diminuição do peso total	Utilização de novos materiais,
Transferir	Estabilidade da cadeira de rodas	Distancia entre eixos reduzida	Queda do ocupante	Falha crítica	Aumentar distancia entre apoios	Colocação da roda traseira mais atrás
	Movimentação da cadeira de rodas	Falta de sistema de bloqueio	Queda do ocupante	Falha crítica	Criação de sistema de bloqueio	Incorporação se sistema de bloqueio na roda

6.6 Solução Final

Este produto com quase todos os produtos actuais permite personalizações finais, tais como a cor dos componentes do quadro ou ainda o material e cor utilizado no assento e apoio de costas. Esta personalização torna o produto mais atractivo para o cliente final torna assim cada cadeira de rodas um produto a medida da personalidade do cliente.

Esta cadeira de rodas ainda apresenta um mais valida no mercado devido à sua originalidade no que diz respeito às formas do quadro e ainda nos sistemas utilizados.

Em seguida estão representados alguns cenários possíveis de utilização da cadeira de rodas.



Figura 6.22 – Subida de rampa de acesso



Figura 6.23 - Fotorealismo

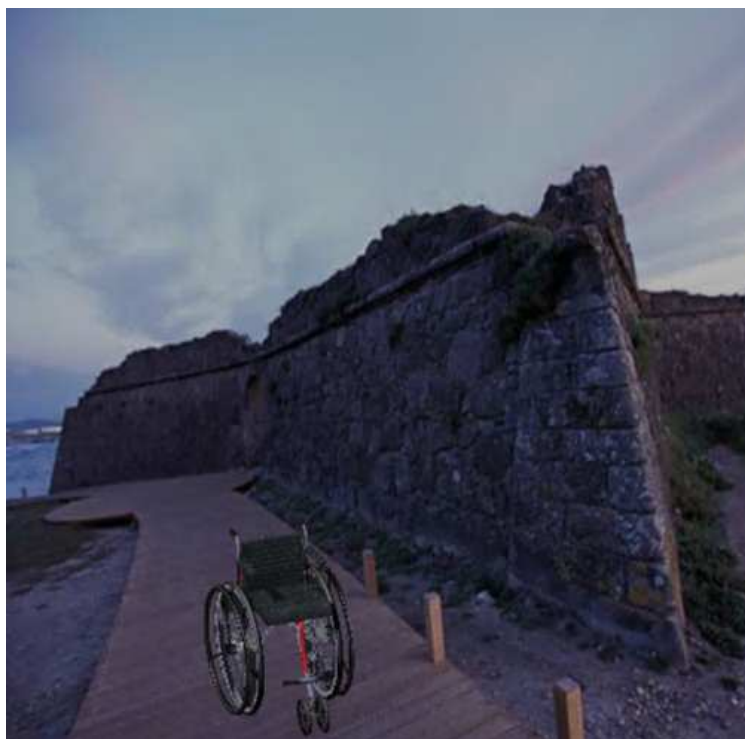


Figura 6.24 - Fotorealismo

Para o público mais jovem, como já foi referido é necessário tornar o produto mais apelativo, este objectivo nesta cadeira de rodas e conseguido através da inserção de motivos adequados a cada faixa etária.



Figura 6.25 - Proposta Final Caso Criança



Figura 6.26 - Proposta Final Caso Criança



Figura 6.27 - Proposta Final Caso Criança



Figura 6.28 - Proposta Final Caso Criança

7 Conclusão

Este trabalho permitiu consolidar técnicas relacionadas com o desenvolvimento de um novo produto como: o estudo de mercado, a simulação numérica em CATIA, a estruturação e a gestão de projecto para assim desenvolver um produto competitivo no mercado.

Foi um projecto aliciante uma vez que permitiu analisar a cadeira de rodas de uma perspectiva diferente para conseguir conciliar vários elementos distintos. Dos diversos produtos que foram encontrados na análise de mercado, não existia nenhum que acompanhasse o desenvolvimento/crescimento do utilizador de cadeira de rodas durante um período de tempo tão grande. Na mesma análise, verificou-se que nenhuma cadeira de rodas actualmente disponível no mercado possuía um banco rígido e um quadro dobrável. Ao integrar estas características numa única cadeira de rodas permitiu-nos confrontar o desafio do desenvolvimento de um produto único e com características singulares.

Entre as potenciais vantagens resultantes do desenvolvimento desta proposta de cadeira de rodas podem destacar-se: permite que esta acompanhe o ocupante desde os 6 anos de idade até à idade adulta; contribui, em princípio, para uma diminuição do custo de investimento e do esforço financeiro a suportar pelo agregado familiar; a utilização de um banco rígido diminui o aparecimento de escaras no utilizador, uma vez que este possui uma almofada incorporada; permite a possibilidade do utilizador escolher o tipo configuração de almofada que mais se ajusta às suas necessidades, tal como no apoio de costas.

O sistema de compactação/fecho e de adaptabilidade são incorporados no mesmo sistema, sendo que a solução desenvolvida para a adaptabilidade apresenta uma diminuição de peso comparativamente com os sistemas tradicionais, permitindo assim que esta cadeira se incorpore na categoria das cadeiras leves com apenas 16 kg. O sistema de fecho e compactação quando comparada com o sistema tradicional exige um maior número de movimentos realizados pelo utilizador, mas estes são possíveis de realizar pelo ocupante de forma autónoma, sem grande esforço. A incorporação do variador de velocidade permite ao utilizador uma diminuição de potência necessária para deslocar a cadeira de rodas, o que potencialmente reduz o aparecimento de lesões no utilizador.

Ressalva-se, no entanto que alguns elementos desta cadeira de rodas que poderão ser simplificados durante a fase de implementação da produção desta cadeira rodas, como por exemplo a árvore do apoio de pés, uma vez que possui uma pequena curvatura, e os elementos reguláveis responsáveis pela largura da cadeira de rodas, uma vez que possuem curvas que podem ser simplificadas durante o fabrico. A simplificação destes elementos teria de ser analisada de modo a verificar se o benefício no custo de fabrico, não afectaria uma desvalorização do produto final junto do mercado alvo.

Este foi um projecto aliciante que representou um grau de dificuldade que não era esperado, mas permitiu igualmente confrontar-me com uma abrangência de áreas e conhecimentos que espero que me possam ser úteis no futuro. Do meu contributo espero ter conseguido dar um primeiro passo para o desenvolvimento de uma solução de uma cadeira de rodas de crescimento mais efectiva, obrigação cívica de uma sociedade justa e igualitária.

8 Referencias Bibliográficas

1. Cooper R. Wheelchair Selection and Configuration. New York: Demos Medical Publishing; 1998.
2. Pedretti L. Terapia Ocupacional - Capacidades Práticas para as Disfunções Físicas. 5ª, São Paulo: Roca; 2005.
3. Williams M. Wheelchair Cushions - Types and Reviews. Disabled World. 2009.
4. ABLEDATA. Fact Sheet on Manual Wheelchairs. 2006.
5. Mayall K. Positioning in a wheelchair: a guide for professional carigivers of disabled adult, New Jersey: SLACK Incorporated; 1995.
6. Schmeler M. Manual Wheelchairs: Set-Up & Propulsion Biomechanics. Center for Assistive Technology. Science & Technology University of Pittsburgh. 1999.
7. Moura M., Magalhães A. Materiais compósitos: materiais,fabrico e comportamento mecanico: Publindústria; 2005.
8. Batavia M. The Wheelchair Evaluation: A Clinician's Guide. Sudbury: Jones and Bartlee Publishers; 2010.
9. Cooper R., Robertson R. Repetitive Strain Injury Among Manual Wheelchair Users. Heavy Handed. 2006.
10. Rizo L. Aspectos Biomêcanicos e Funcionais na Prescrição de Cadeira de Rodas. 2003.
11. Hsin-yi Liu R.,Pearlman J.,Cooper R.,Connor S. Evaluation of titanium ultralight manual wheelchairs using ANSI/RESNA standards. Journal of Rehabilitation Research & Development. 2008;45.
12. Di Giovine M., Boninger M., Lawrence B. User Assessment of Manual Wheelchair Ride Comfort and Ergonomics. Arch Phys Med Rehabil. 2000.
13. Souza A. Impact and Usage of Pushrim Activated Power Assist Wheelchair Among Individuals with Tetraplegia. University of Pittsburgh. 2007.
14. Shimada S., Bonninger M., Cooper R. Kinematic characterization of wheelchair propulsion. Journal of Rehabilitation Research and Development. 1998;35:1-2.
15. Richter W., Woods K., Axelson P. Stroke Pattern and Handrim Biomechanics for Level and Uphill Wheelchair Propulsion at Self-Selected Speeds. Arch Phys Med Rehabil. 2007;88.
16. Development of an Ergonomic Manual Wheelchair Pushrim. Three Rivers. 2003.

17. Boninger M., Cooper R., Fitzgerald S., Koontz A. Propulsion Patterns and Pushrim Biomechanics in Manual Wheelchair Propulsion. Arch Phys Med Rehabil. 2002;83.
18. Rankin J., Richter W., Richard R.. The influence of altering push force effectiveness on upper extremity demand during wheelchair propulsion. Journal of Biomechanics. 2010.
19. Portugal. Decreto-Lei n.º 123/97 de 22 de Maio. 1997.
20. Tudo por fazer nos transportes, edifícios e trabalho: ProTESTE; 2007.
21. AB P. Sistema para cadeiras de rodas elétricas. Permobil AB. 2007.
22. Acello B. Nursing assisting: essentials for long-term care. New York Thomson Delmar Learning; 2005.
23. Selzer E., Cohen L., Duncan P., Gage F. Textbook of Neural Repair and Rehabilitation: Medical neurorehabilitation. New York Cambridge University Press; 2006.
24. Todd S. Choosing a Wheelchair System. 1992.
25. Carriel I. Recomendações Ergonômicas Para o Projecto de Cadeiras de Rodas. 2007.
26. Moraes F. Epidemiology of sportive injuries in basketball wheelchair players. ACTA FISIATR. 2006.
27. Teixeira A.M. Basquetebol em Cadeira de Rodas. Paraolímpicos do Futuro. 2006.
28. Cavalcanti M. Manual de Orientação para Professores de Educação Física Tennis. Paraolimpicos do Futuro. 2006.
29. Bleakney A. BlazeSports Track and Field Manual. US Disabled Athletes Fund, Inc. 2004.
30. Morse M. Wheelchair Track. Paralyzed Veterans of America. 1999.
31. Philip S., Requejo M., McNitt-Gray J., Adkins R., and Waters R. Influence of Hand-Rim Wheelchairs with Rear Suspension on Seat Force and Head Acceleration During Curb Descent Landings. Journal Rehabil Medical. 2009.
32. Bettex M. New wheelchair gets its first real-world test. MIT News Office. 2010.
33. Akao Y, Mazur G. The leading edge in QFD: past, present and future. International Journal of Quality & Reliability Management. 2003;20(1):20-35.
34. Koontz A., Boninger M., Yusheng Yang, Bradley G. Impink, van der Woude L. A kinetic analysis of manual wheelchair propulsion during start-up on select indoor and outdoor surfaces. Journal of Rehabilitation Research & Development. 2005;42.

35. L.Boninger M., Cooper R., Koontz R. Manual Wheelchair Pushrim Biomechanics and Axle Position. Arch Phys Med Rehabil. 2000;81.

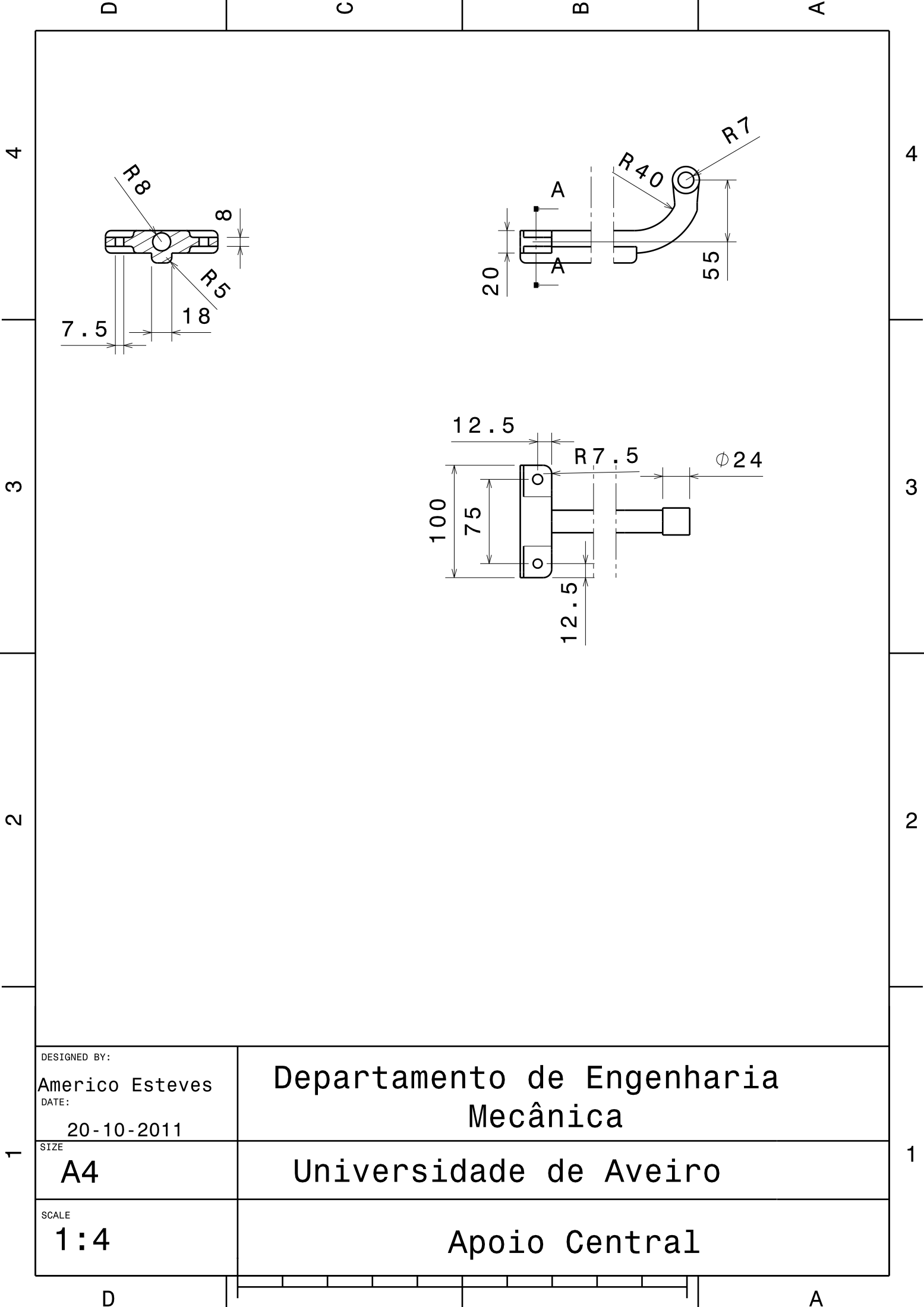
Anexos

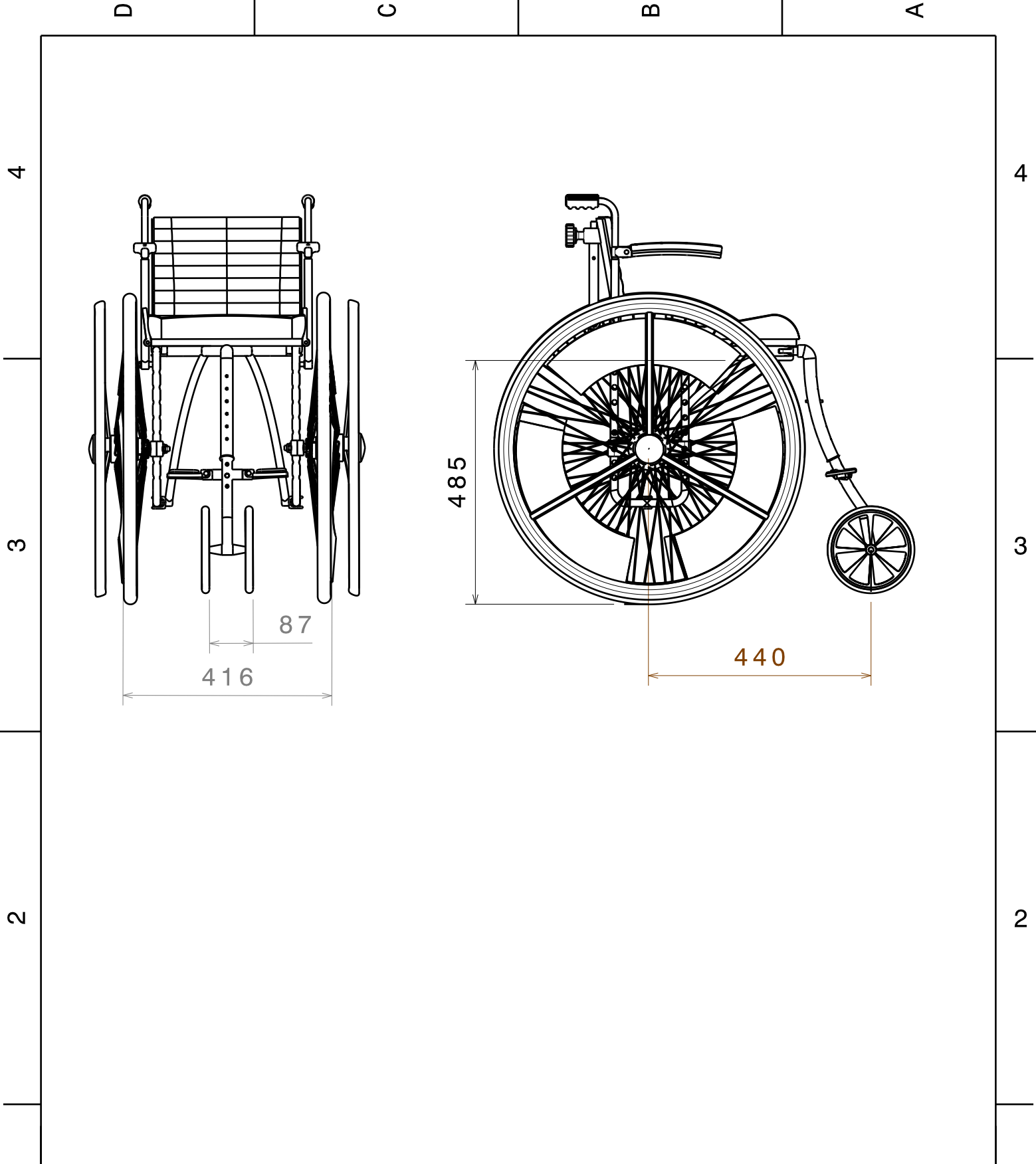
Lista de peças

Peça	Número	Quantidade
Anel de Locomoção	1	2
Protecção de Jante	2	2
Nexus 3-speed Coaster Brake Internal Gear Hub	3	2
Jante Traseira	4	2
Pneu Traseiro	5	2
Porca H ISO 10511 M10	6	2
ISSO 8734 10-22	7	2
Apoio de Costas	8	2
Apoio de Costas Extensível	9	2
Sistema de locomoção externa	10	2
Apoio de braços rotação	11	2
Barra de apoio de braços	12	2
Encosto de apoio braços	13	2
Base do banco fixo	14	1
Base do banco modular	15	1
Regulador de altura	16	2
Tubo extensível costas	17	2
Base do apoio de costas	18	1
Espuma apoio de costas	19	1
Espuma banco 1	20	1
Espuma banco 2	21	1
Selector de velocidade	22	1
Anilha plana ISSO 7089 M5-10	23	2
Parafuso ISO 4016 M3-30	24	2
Apoio da roda traseira	25	2
Apoio de pés	26	2
Extensão do apoio de pés	27	2
Pneu Frontal	28	2
Jante roda frontal	29	2
Apoio de rodas frontal	30	2
Árvore extensível de apoio de pés	31	2
Parafuso ISO 4016 M5-40	32	1
ISSO 4032 M6	33	1
Pino apoio de Pés	34	2
Árvore regulável de apoio de pés	35	1
Rolamento	36	2
Ajuste de comprimento	37	2
Apoio central	38	1
Pino Rotação	39	1
Tubo apoio de costas	40	2
Centro de massa	41	4
Tirante do quadro	42	2

Lista de peças cubo nexus

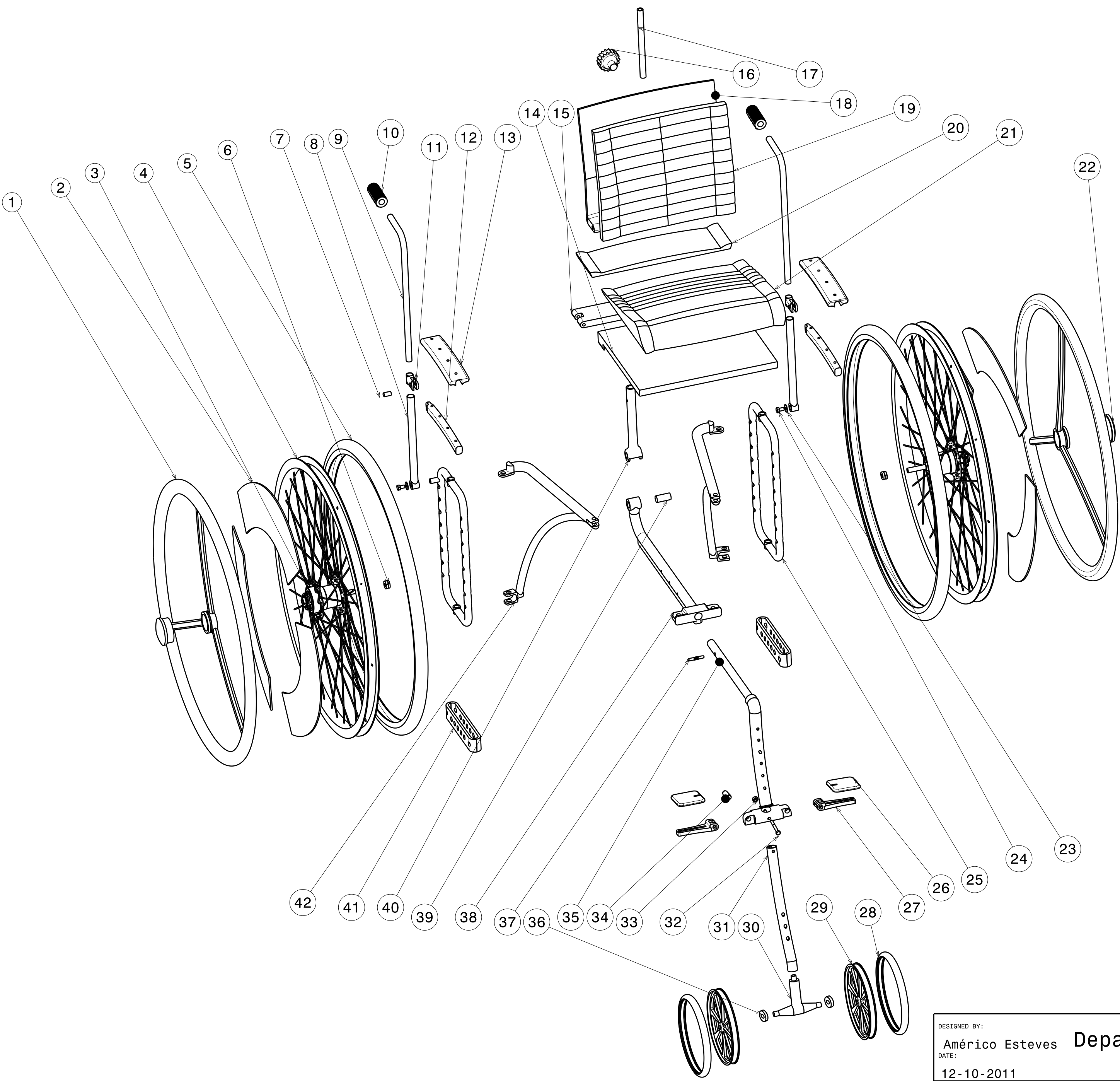
Peça	Número	Quantidade
Porca H ISO 10511 M10	1	1
Vedante	2	1
Encaixe de rolamento	3	1
Rolamento	4	1
Veio	5	1
Caixa exterior	6	1
Encaixe de estrutura	7	1
Anel	8	1
Selector de velocidade	9	1
Anel de mudanças	10	1
Sistema de encaixe	11	1
Mola	12	1
Anel	13	1
Rolamento	14	1
Unidade de Mudança	15	1
Porca H ISO 10511 M10	16	1
Vedante	17	1
Rolamento	18	1
Encaixe de Rolamento	19	1
Rodas dentadas	20	4





DESIGNED BY:
Americo Esteves
DATE:
20-10-2011
SIZE
A4
SCALE
1:10

**Departamento de Engenharia
Mecânica**
Universidade de Aveiro
Conjunto



DESIGNED BY:		Departamento de Engenharia Mecânica
Américo Esteves		
DATE:		
12-10-2011		
SIZE		
A2	Universidade de Aveiro	
SCALE		
1:6	Vista explodida	

D

C

B

A

4

4

3

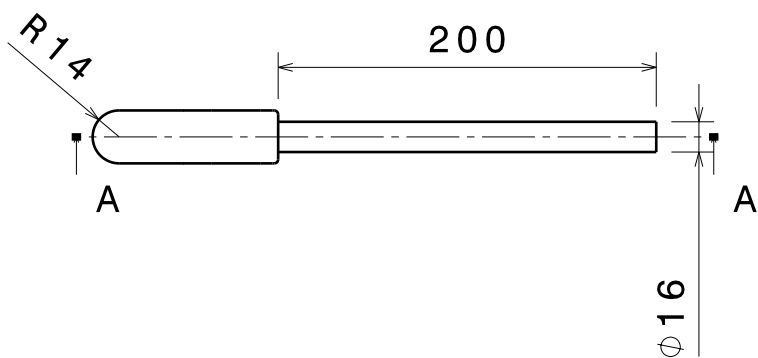
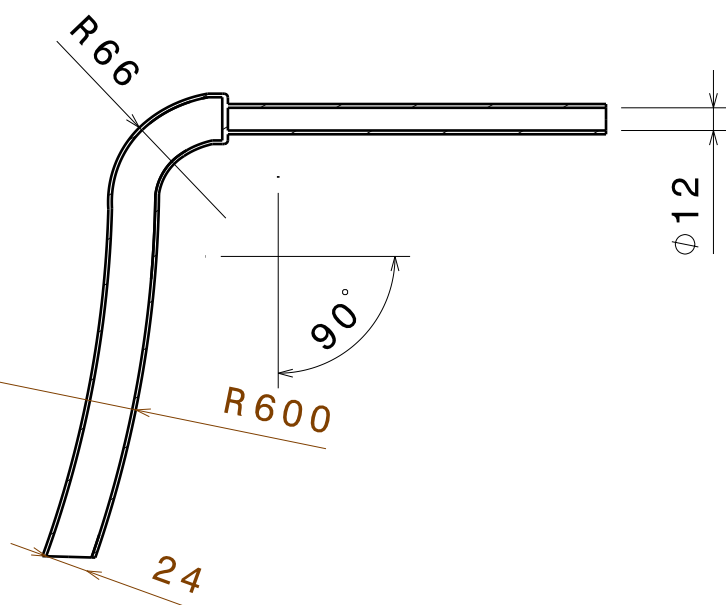
3

2

2

1

1



DESIGNED BY:

Americo Esteves

DATE:

20-10-2011

SIZE

A4

SCALE

1:4

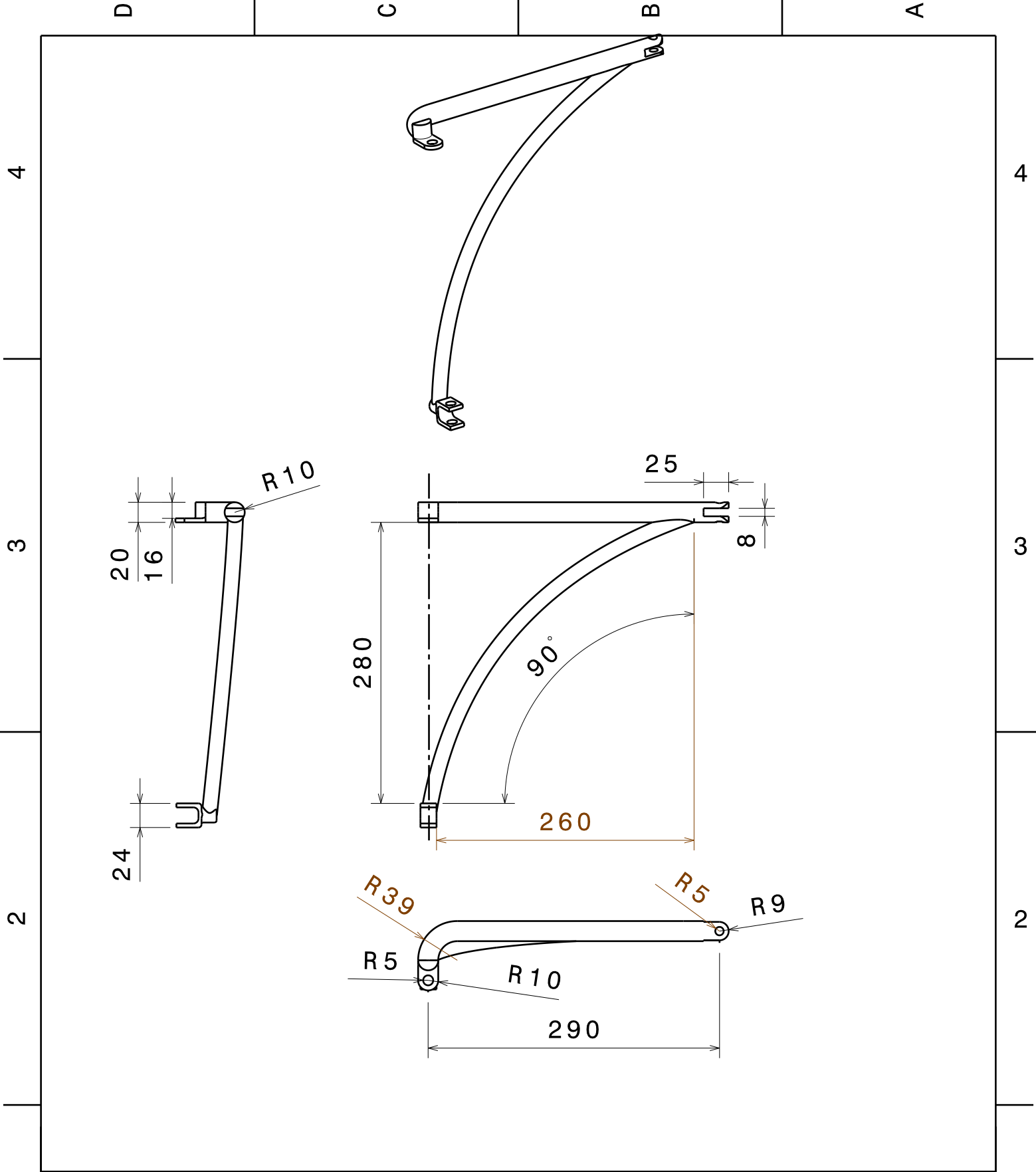
Departamento de Engenharia
Mecânica

Universidade de Aveiro

Árvore regulável de apoio de pés

D

A



DESIGNED BY: Americo Esteves DATE: 20-10-2011	Departamento de Engenharia Mecânica
SIZE A4	Universidade de Aveiro
SCALE 1:5	Tirante do quadro

D

C

B

A

4

4

3

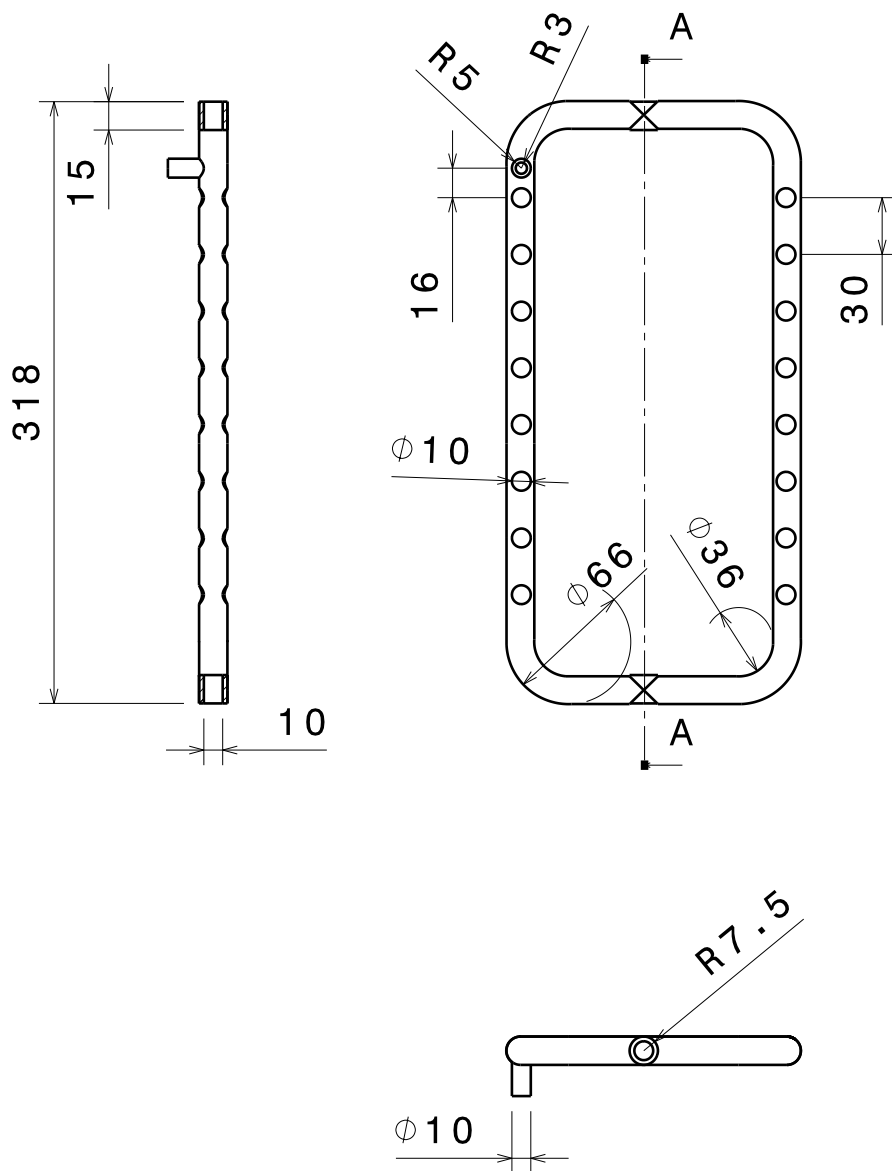
3

2

2

1

1



DESIGNED BY:

Americo Esteves

DATE:

20-10-2011

SIZE

A4

SCALE

1:4

Departamento de Engenharia
Mecânica

Universidade de Aveiro

Apoio da roda traseira

D

A

4

4

3

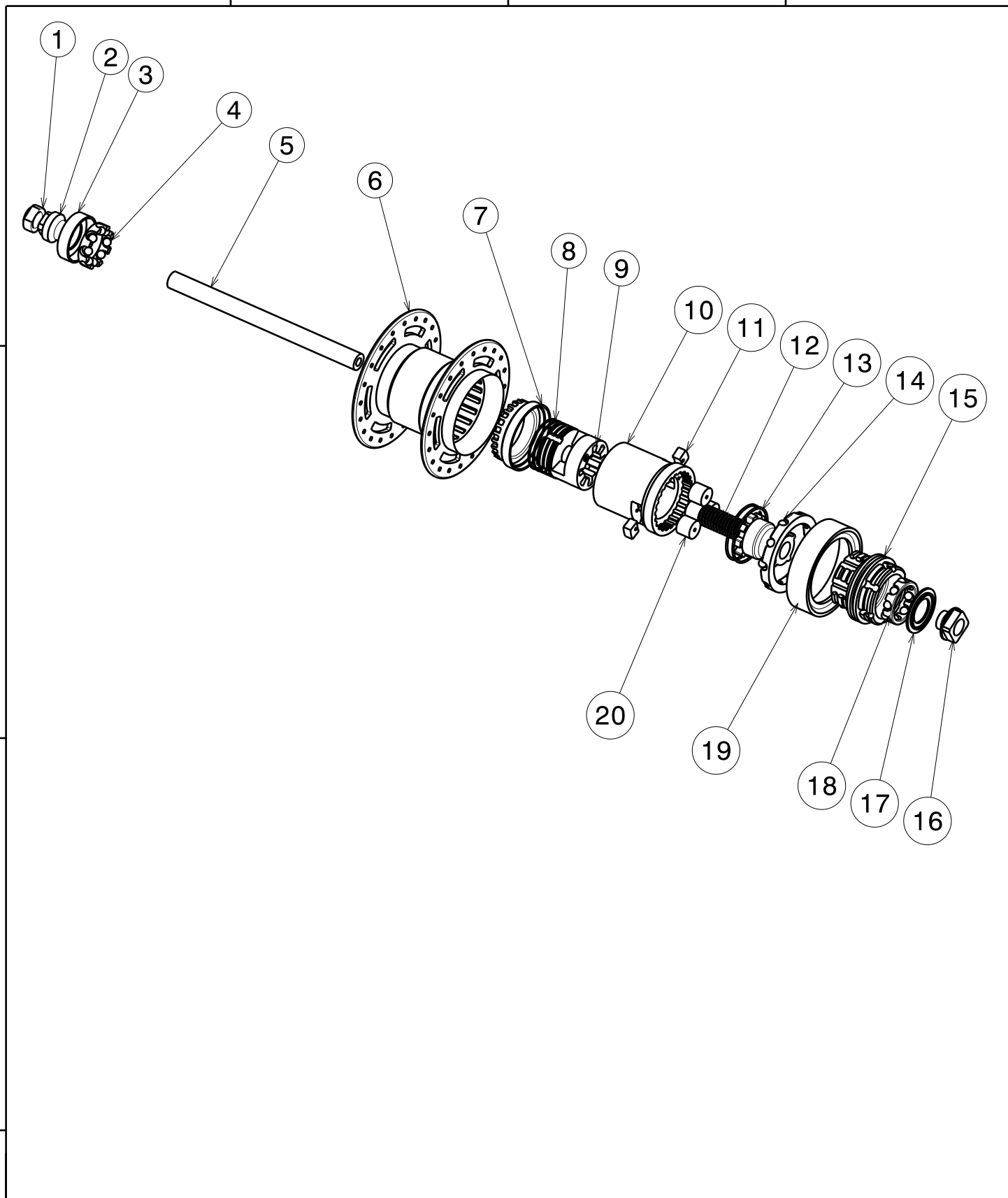
3

2

2

1

1



DESIGNED BY:

Americo Esteves

DATE:

20-10-2011

SIZE

A4

SCALE

1:4

Departamento de Engenharia
Mecânica

Universidade de Aveiro





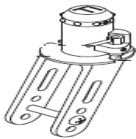


Nexus Vista Explodida

D

A

Quadro morfológico

Apoio de Braços				
	Fixo	Apoio Removível	Ajustável	
Apoio de Pés				
	Apoio duplo	Apoio de Rotação	Apoio Ajustável	Apoio Único
Apoio de Costas				
	Apoio Fixo	Apoio com rotação de 30°	Apoio com rotação de 90°	
Tipo de Assento				
	Nylon	Ergonómico		

Sistema de Travagem				
	Tradicional	Bicicleta	Disco	
Sistema de Locomoção externa				
	Dois apoios	Apoio Único		
Rodas Traseiras				
	Raios	Jantes	Discos	
Rodas Frontais				
	Ajustável	Fixo		
Sistema se Locomoção Principal				
	Accionamento Manual	Anéis	Eléctrico	